

## **STRESS ANALYSIS OF PISTON AND CONNECTING ROD ON 125 HP4 STROKE DIESEL ENGINE**

**Name** : Firdha Fauzie  
**NRP** : 4212 105023  
**Department** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Advisor 1** : Ir. Tjoek Soeprajitno  
**Advisor 2** : Dr. I Made Ariana, ST, M.Sc

### **ABSTRACT**

*Reverse engineering* is a kind of methods to design the diesel engine that use general design of diesel engine as the reference. One of the important part of diesel engine is piston and connecting rod, because it's immediately connected to the combustion chamber which produce pressure and high temperature. In this design's planning that uses four kinds of material (AlSi 12 CuNiMg forget, AlSi 12 Cu4Ni2Mg, AlSi 18 CuNiMg, AlSi 25 CuNiMg) in two models. Meanwhile the connecting rod uses two kind of materials (C-70 dan AlSi 1045) in a same model. The strongest of analysis result for piston AlSi 12 CuNiMg forget whith the maximum stress is  $113,5 \text{ N/mm}^2$  and  $161.87 \text{ N/mm}^2$  in the hole's model of ring oil area and the thermal stress is 25,773 Mpa, whereas the other model that not use the hole on ring oil area is 18,674 Mpa. The highest stress is on pin area and oil hole on ring oil area. Meanwhile the biggest stress of connecting rod is on cooling oil's hole as  $32,74 \text{ N/mm}^2$ .

**Keywords** : *Piston, Connecting Rod, Thermal Stress, Total Stress.*

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **ANALISA TEGANGAN PISTON DAN CONNECTING ROD PADA MOTOR DIESEL 4 LANGKAH 125 HP**

**NamaMahasiswa** : Firdha Fauzie  
**NRP** : 4212 105023  
**Jurusan** : TeknikSistemPerkapalan  
**DosenPembimbing 1** : Ir. Tjoek Soeprajitno  
**DosenPembimbing 2** :Dr. I Made Ariana,ST,M.Sc

### **ABSTRAK**

*Reverse engineering* adalah salah satu metode dalam mendesain motor diesel dengan menggunakan motor diesel yang sudah ada sebagai referensi dan acuan dalam membuat desain. Salah satu komponen penting dalam motor diesel adalah Piston dan Connecting Rod, karena bersinggungan langsung dengan ruang bakar yang menghasilkan tekanan dan temperatur yang tinggi. Desain ini menggunakan empat macam material (AlSi 12 CuNiMg forget, AlSi 12 Cu4Ni2Mg, AlSi 18 CuNiMg, AlSi 25 CuNiMg) dengan dua macam model sedangkan pada connecting rod menggunakan dua macam material (C-70 dan AlSi 1045) pada satu model yang sama. Dari hasil analisa, material yang paling kuat adalah AlSi 12 CuNiMg forget dengan tegangan maksimal  $113,5 \text{ N/mm}^2$  dan  $161.87 \text{ N/mm}^2$  pada model yang tidak menggunakan lubang pada area ring oil dan mengalami Thermal Stress sebesar 18,674 Mpa. Pada model yang menggunakan lubang Oil pada area ring oil teganganya adalah 25.773 Mpa. Tegangan terbesar terjadi pada area pin dan lubang oil pada area ring oil, Sedangkan pada connecting rod tegangan terbesar terjadi pada area lubang oil pendinging sebesar  $32,74 \text{ N/mm}^2$ .

**Kata kunci** : *Piston, Connecting Rod, Thermal Stress, Total Stress.*

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISA TEGANGAN PISTON DAN CONNECTING ROD PADA MOTOR DIESEL 4 LANGKAH 125 HP**

## **SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :  
Firdha fauzie  
NRP.4212 105 023**

**Disetujui Oleh Pembimbing Skripsi :**

- 1. Ir. Tjoek Soeprajitno**
- 2. Dr. I Made Ariana,ST,M.Sc**



**Surabaya, Agustus 2014**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISA TEGANGAN PISTON DAN CONNECTING ROD PADA MOTOR DIESEL 4 LANGKAH 125 HP**

### **SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Firdha fauzie**  
**NRP.4212 105 023**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS :

**DR. Ir. Agoes A. Masroeri, M.Eng**



**Surabaya, Agustus 2014**

## **Daftar Isi**

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>ix</b>
<b>Daftar Gambar</b>	<b>xv</b>
<b>Daftar Grafik</b>	<b>xix</b>
<b>Daftar Tabel</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
<b>Latar Belakang</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Perumusan Masalah</b>	<b>1</b>
1.3 Batasan Masalah2	
1.4 Tujuan Penulisan	2
1.5 Manfaat Penulisan	2
<b>TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	<b>3</b>
I. Tinjauan Pustaka	3
II. Dasar Teori	4
2.1.1 Deskripsi Umum	4
2.1.2 Prinsip Kerja	4
2.2 Piston	6
2.2.1 Diskripsi Umum	6
2.2.2 Material	8
2.2.3 Piston Design	10

2.3 Piston Rings	11
2.3.1 Material	12
2.4 Connecting Rod	13
2.4.1 Material	14
2.5 Tegangan	15
2.5.1 Tegangan Normal	15
2.5.2 Regangan Normal	18
2.5.3 Penentuan Tegangan Izin dan Modulus Elastisitas Diagram Tegangan-Regangan	20
2.5.4 Tegangan Geser (Shearing Stress)	21
2.5.5 Kelelahan	22
2.6 Tegangan Batas, Tegangan Ijin, Faktor Keamanan	22
2.7 Analisa Termal	23
2.7.1 Analisa Steady-State	23
2.7.2 Kondisi Awal Dari Analisa Steady-State	24
2.8 Perpindahan Panas (Heat Transfer)	24
2.8.1 Perpindahan Kalor Konduksi	25
2.8.2 Konduktivitas Termal	28
<b>BAB III METODELOGI</b>	<b>29</b>
3.1 Flow Chart Penulisan	29
3.2 Studi Literatur	30
3.3 Pengambilan Data	30
3.3.1 Material Piston	31
3.3.3 Dimensi Piston	34



3.3.4 Deminsi Conneting Rod	35
3.3.5 Simulasi performa mesin	36
3.4 Pembuatan Model 2D pada software AutoCad	37
3.5 Analisa model	39
3.5.1 Meshing	39
3.5.2 distribusi panas	40
3.5.3 Convection	41
3.5.4 Heat Flow	41
3.5.5 Elastic Support	42
3.5.6 Presurure	43
3.5.7 Thermal Stress Analysis	43
3.5.8 Pressure Stress Analysis	44
3.5.9 Total Stress	44
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>47</b>
4.1 Definisi Umum	47
4.2 Analisa Thermal	50
4.3 Analisa Thermal Stress Pada Piston	52
4.4 Analisa Tegangan Total Pada Piston	53
4.5 Analisa Tegang Pada Connecting Rod	56
4.6 Pembahasan	59
4.6.1 Analisa Struktur	59
4.6.2 Analisa Thermal	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan	65

5.2 Saran	66
<b>Daftar Pustaka</b>	<b>67</b>
<b>Lampiran</b>	<b>69</b>

## Daftar Tabel

<i>Tabel 2.1 chemical composition of aluminum piston alloy....</i>	<i>10</i>
<i>Tabel 2.2 Chemical Composition Material Connecting Rod.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabel 3.1 Data Mesin Cummins 4BTA3.9-C125.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabel 3.2 Chemical Composition of Aaluminum Piston Alloy.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabel 3.4 Material Propertis Aluminun Aloy Piston.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabel 3.5 Mechanical Ccompisotion Connecting Rod.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabel 3.6 Material Propertis Connecting Rod.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabel 3.7 Tabel Data Distribusi Tekanan .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabel 3.8 Tabel Data Distribusi Temperatur.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabel 4.1 Piston Material Propertis.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabel 4.2 Connecting Rod Material Propertis.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabel 4.2 Connecting Rod Material Propertis.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabel 4.4 Hasil Analisa Thermal stress.....</i>	<i>66</i>

*Halaman Sengaja di Kosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **I. Tinjauan Pustaka**

Analisa sebelumnya pernah dilakukan oleh Ghodake dan Patil yang membicarakan tentang analisis dan desain piston menggunakan *CAE TOOLS*. Pada penelitian piston dianalisis memiliki kondisi batas berupa penentuan tekanan dan tumpuan. Tekanan dimodelkan dengan tekan yang dikenakan pada muka atas piston. Tumpuan dimodelkan dengan *FIXED SUPPORT* yang diletakan pada kedua lubang boss piston. Simulasi ini menggunakan ANSYS dengan analisa static structural. Simulasi dilakukan terhadap piston saja tanpa melibatkan komponen lainnya. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan tegangan ekuivalen sebesar 369 Mpa dengan pembebanan sebesar 18 Mpa.

Untuk penelitian yang berbicara tentang distribusi temperatur pada piston telah dilakukan oleh Gudimetal dan Gopinath (2009). Penelitian tersebut bertema tentang analisis elemen pada reverse engginering piston mesin pembakaran dalam. Selain membahas tentang distribusi tegangan, penelitian tersebut juga membahas distribusi temperatur secara terpisah. Perpindahan panas yang terjadi dalam ruang bakar dimodelkan sebagai perpindahan secara konveksi. Koefisien konveksi berbeda-beda pada bagian *head, land dan skirt*. Beban temperatur dikenakan pada permukaan atas piston sebesar 360 °C. Simulasi dilakukan dengan menggunakan ANSYS dengan analisis *steady state thermal*.

## **II. Dasar Teori**

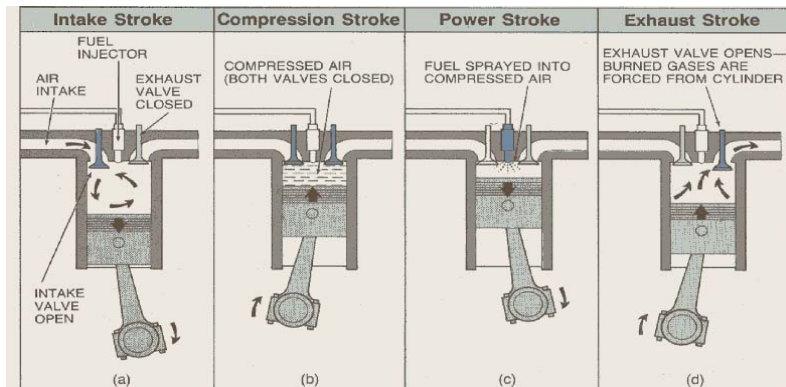
### **2.1.1 Deskripsi Umum**

Mesin diesel merupakan tenaga penggerak yang banyak digunakan pada kendaraan darat maupun kendaraan laut. Banyak keunggulan dari mesin diesel ini antara lain mempunyai tingkat efisiensi yang cukup tinggi dengan tingkat pemakaian bahan bakar cukup rendah dan ukuran mesin yang sangat kompak dan dikendalikan (*Harington, 1992*). Karakteristik motor diesel yang membedakan dengan motor lain adalah metode pembakaran bahan bakar. Dalam motor diesel bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara bertekanan tinggi dan sekaligus dikompresikan sehingga menyebabkan suhu udara bertekanan menjadi meningkat. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam dengan bentuk kabut halus sehingga di dalam akan menyala atau terjadi sebuah ledakan ini yang membedakan dengan motor bakar lain yang membutuhkan alat penyalat dari luar. Maka dari ini mesin diesel sering disebut motor penyalatan kompresi.

### **2.1.2 Prinsip Kerja**

Motor diesel memiliki prinsip kerja saat langkah hisap udara dihisap ke dalam silinder lalu torak bergerak ke atas dan menekan udara sehingga suhu naik sangat tinggi. Beberapa saat sebelum titik mati atas bahan bakar disemprotkan. Akibat dari adanya campuran udara bertekanan dengan suhu panas dan adanya bahan bakar maka terjadi ledakan atau pembakaran. Prinsip kerja motor diesel 4 langkah:

- Langkah Hisap (*Admision*)  
Torak bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah, katup hisap terbuka dan udara masuk melalui katub
- Langkah kompresi (*Compression*)  
Torak bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas, katup menutup beberapa derajat setelah titik mati bawah. beberapa derajat langkah torak sebelum nyampek titik mati atas maka bahan bakar di injeksikan keruang bakar melalui injektor nonel
- Langkah kerja (*Expansion*)  
Torak bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah dan setelah bahan bakar tercampur dengan udara maka terjadi pembakaran dan menghasilkan gerak balik torak menuju titik mati bawah
- Langkah Buang (*Exhaust*)  
Piston bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas dan katup buang terbuka beberapa derajat sebelum tekanan dalam selinder naik karna dorongan piston sehingga gas hasil pembakaran terbuang keluar



Gambar2.1 prinsip kerja Mesin Diesel

## 2.2 Piston

### 2.2.1 Diskripsi Umum

Fungsi utama piston adalah mentransmisikan energi yang didapatkan dari pembakaran di ruang bakar ke *conrod*, dengan memberikan tempat untuk bantalan *conrod*. Membentuk sebuah sil gas geser yang ketat di silinder dan menyalurkan energi panas ke media pendingin. Dengan demikian piston akan menderita karena tekanan gas dan gaya inersia, temperatur tinggi selama pembakaran, gaya gesek pada skirt dan celah ring serta gerakan sisi ke sisi dari piston.

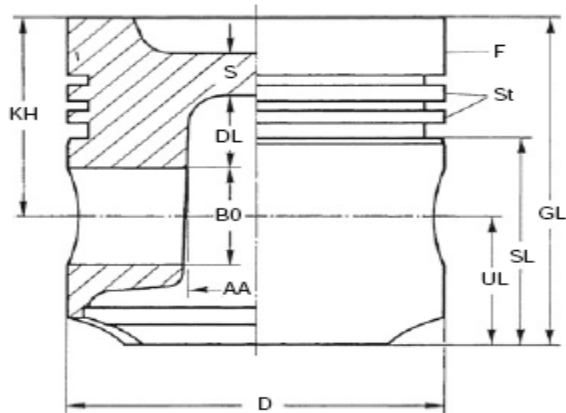
Bahan dasar yang dipakai untuk piston pada dasarnya ada dua macam material utama yaitu paduan aluminium dan besi tuang kelabu serta sedikit dari baja tuang, di mana mereka mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihan paduan aluminium misalnya konduktivitas termalnya tinggi, sehingga temperatur *crown* piston menjadi lebih rendah, lebih ringan sehingga sangat disukai untuk kecepatan tinggi, dapat dicetak dengan *die cast steel mould* sehingga memberikan akurasi lebih tinggi serta jumlah produksi lebih banyak per satuan waktu, mudah di-*machining*, namun lunak dan ekspansi termal yang tinggi. Untuk beban besar maka piston jenis ini dibuat dengan cara tempa (*forged aluminium alloy*).

Besi tuang hanya digunakan pada piston dengan beban terbesar, kuat dengan kekerasan permukaan yang cukup mampu pada temperatur operasi tinggi, namun kekurangannya adalah berat, getas, mudah retak dan bukan konduktor panas yang baik. Untuk piston dari bahan ini biasanya diperlukan suatu sistem pendinginan di dalam piston yang agak spesifik agar menjamin tidak mudah kepanasan melebihi kemampuannya.

Perencanaan bentuk piston dimulai dari perancangan pembakaran yang akan dilakukan di dalam ruang bakar, termasuk dalam perencanaan tersebut antara lain bentuk ruang bakar, peletakan



dan jumlah busi, jumlah dan peletakan katub – katub, serta peletakan injektor untuk jenis GDI. Desain umum piston dapat dilihat pada gambar berikut ini.



*Gambar2.2 Dimensi Piston*

Keterangan :

F = fire Land

S = Ketebalan Kepala Piston

St = Piston Ring Groove

GL = Panjang Keseluruhan Piston

BO = Diameter Lubang Boss

SL = Panjang Skirt

D = Diameter Piston

Dalam keadaan operasional maka piston akan mengalami tekanan besar dan temperatur tinggi. Tekanan besar akan memberikan persyaratan agar tekanan yang terjadi di ruang bakar dimanfaatkan sepenuhnya oleh piston dengan memberikan daya dorong ke *conrod* dan diteruskan ke *crankshaft*. Hal ini bertujuan agar tekanan yang dihasilkan oleh gas tidak bocor ke *crankcase*, dengan demikian *groove ring* menjadi penting dalam kata lain

harus kuat menahan tekanan gas yang terjadi dan tidak mudah tererosi atau terkikis oleh gerakan bolak – balik piston di silinder liner.

Sedangkan unsur temperatur tinggi diatasi dengan berbagai cara, misalnya pemberian garam yang diisikan pada celah yang dibuat dalam piston. Cara pendinginan yang lain adalah dengan menggunakan oli pelumas di *crankcase* yang dengan berbagai cara dapat didinginkan.

Selanjutnya, dalam keadaan tekanan besar dan temperatur tinggi mengakibatkan desain piston selain mencari solusi seperti di atas juga memperhatikan ekspansi atau regangan yang terjadi karena panas yang terjadi dapat memberikan pengembangan yang dapat menyebabkan bodi piston secara keseluruhan akan melekat lengket dengan dinding silinder liner. Untuk itu akibat ekspansi pengembangan ini diperhatikan dengan berbagai cara antara lain diameter ujung atas piston (*crown*) tidak sama dengan bagian bawah (*skirt*), di mana pada bagian ini ukurannya sedikit lebih besar.

Dengan mencetak *ring shaped* atau *plate-shape steel* di *skirt* piston (*controlled expansion*) maka ekspansi panas dapat dipengaruhi sesuai dengan kebutuhan. Piston yang diberi *controlled-expansion* tersebut banyak sekali digunakan pada mesin SI beban tinggi. Dengan mencor bentuk ring ataupun bentuk plat baja yang diletakkan di *skirt* piston, maka ekspansi termal dapat dipengaruhi.

### 2.2.2 Material

Penggunaan aluminium sebagai logam murni, karena sifat aluminium memiliki sifat ringan dan sifat-sifat mekanisnya dan dapat mampu ditambah dengan unsur-unsur lain. Dari beberapa contoh penelitian sebelumnya pada umumnya unsur-unsur yang dipadukan adalah tembaga, silikon, magnesium.

- a. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Paduan ini ditemukan oleh A. Wilm. Dalam usaha pengembangan paduan aluminium yang kuat yang dinamakan *duraluminium*. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0.5% Mg serta dapat mengeras dengan dalam beberapa hari oleh penuaan dalam temperatur biasa atau *natural aging* setelah *solution heat treatment* dan *quenching*, studi ini telah banyak dilakukan salah satunya adalah Nishimura yang berhasil menemukan senyawa ternary yang berada dalam keseimbangan Al yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. S adalah ( $Al_2CuMg$ ) yang mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa, Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan industri pesawat terbang (*surdia, 1992*)

b. Paduan Al-Si

Paduan ini ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. dimana paduan ini telah diperlakukan panas dinamakan *silumin*. sifat-sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh paduan. pada umumnya dipakai dengan 0.15%-0.4% Mn dan 0.5% Mg. Paduan yang diberikan perlakuan pelarutan (*solution heat treatment*), *quenching* dan *aging* dinamakan *silumin*. b. Paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini dipakai untuk torak motor. (*surdia, 1992*)

c. Paduan Al-Mg

Paduan dengan 2-3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi paduan Al5052 adalah paduan yang biasanya dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan Al5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. (*surdia, 1992*)

#### d. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat almunium tanpa mempengaruhi ketahanan terhadap korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan terhadap korusi. Paduan Al-Mn ini dalam penempatan standar AA adalah paduan Al3003 dan Al 3004 komposisi standar dari paduan Al3003 Al, 1,2% Mn sedangkan paduan Al3004 adalah Al, 1,2%Mn dan 1,0% Mg. Paduan Al3003 dan Al3004 ini digunakan sebagai paduan tahan korusi tanpa perlakuan panas. (*surdia, 1992*)

*Tabel 2.1 chemical composition of aluminum piston alloy (handbook of Diesel engine)*

Alloying elements %	AlSi alloys			
	Eutectic		Hypereutectic	
	AlSi 12 CuMgNi	AlSi 12 Cu4Ni2Mg	AlSi 18 CuMgNi	AlSi 25 CuMgNi
Si	11. . .13	11. . .13	17. . .19	23. . .26
Cu	0.8. . .1.5	3. . .5	0.8. . .1.5	0.8. . .1.5
Mg	0.8. . .1.3	0.5. . .1.2	0.8. . .1.3	0.8. . .1.3
Ni	0.8. . .1.3	1. . .3	0.8. . .1.3	0.8. . .1.3
Fe	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7
Mn	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.2	≤ 0.2
Ti	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2
Zn	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.2
Cr	—	—	—	≤ 0.6
Al	Residual	Residual	Residual	Residual

### 2.2.3 Piston Design

Pengetahuan mengenai desain piston merupakan bagian yang sangat penting dalam proses pembuatan piston geometris dan dimensi piston.

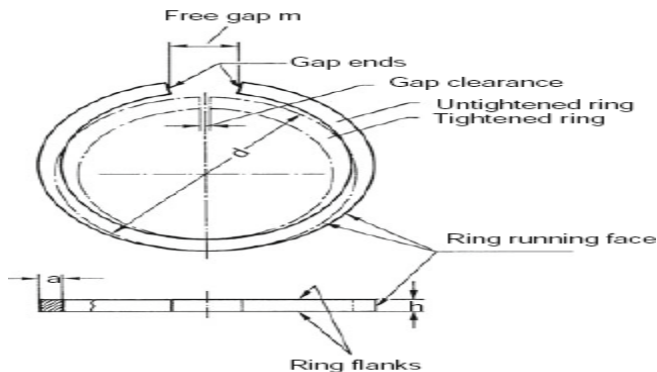
### 2.3 Piston Rings

Ring piston memiliki dua tipe, ring kompresi dan ring oli. Ring kompresi berfungsi untuk pemampatan volume dalam silinder serta menghapus oli pada dinding silinder dan menyebarkan panas merata pada dinding silinder selain itu juga mencegah gas pembakaran lewat dari ruang bakar ke crankcase dan menstabilkan gerak piston. Kemampuan kompresi ring piston yang sudah menurun mengakibatkan performa mesin menurun. Ring oli berfungsi untuk menampung dan membawa oli serta melumasi parts dalam ruang silinder. Ring oli hanya ada pada mesin empat tak karena pelumasan mesin dua tak menggunakan oli samping.

Ring piston tergantung pada pemakaian karena mereka bergerak ke atas dan ke bawah lubang silinder akibat beban yang melekat mereka sendiri dan karena beban gas yang bekerja pada cincin. Untuk meminimalkan hal ini, mereka terbuat dari bahan tahan aus, seperti besi cor dan baja, dan dilapisi untuk meningkatkan ketahanan terhadap aus. Desain port dua-stroke sangat penting untuk lama pemakaian ring. Biasanya, akan dilapisi dengan *kromium* atau *Nitrided* mungkin plasma disemprot atau memiliki PVD (physical vapour deposition) lapisan keramik. Untuk meningkatkan ketahanan, yang paling modern mesin diesel memiliki cincin atas dilapisi dengan lapisan kromium yang dimodifikasi dikenal sebagai CKS atau GDC, lapisan paten dari Goetze yang memiliki aluminium oksida atau partikel berlian masing-masing termasuk dalam permukaan krom. Semakin rendah ring oil control dirancang untuk meninggalkan minyak pelumas pada dinding silinder.

Ring piston untuk mesin diesel saat ini harus memenuhi semua persyaratan :

- gesekan rendah, untuk mendukung tingkat efisiensi daya yang tinggi
- memakai rendah dari cincin, untuk memastikan seumur hidup operasional panjang
- memakai Rendah liner silinder, untuk mempertahankan tekstur permukaan yang diinginkan liner
- Emisi penindasan, dengan membatasi aliran oli mesin ke ruang bakar
- Kemampuan penyegelan yang baik dan rendah blow-by untuk mendukung tingkat efisiensi daya
- Ketahanan terhadap kelelahan mekano-thermal, serangan kimia dan erosi panas
- Ketahanan terhadap kelelahan mekano-thermal, serangan kimia dan erosi panas



*Gambar 2.3 Ring piston Desain*

### 2.3.1 Material

Bahan ring piston dipilih untuk memenuhi tuntutan yang ditetapkan oleh kondisi mesin. bahan harus tahan terhadap kerusakan bahkan dalam keadaan kondisi darurat. Piston ring diperlukan Elastisitas dan ketahanan terhadap korosi . lapisan ring, jika diterapkan, perlu bekerja sama dengan baik dengan

kedua ring dan liner bahan, bahkan dengan pelumas. Sebagai salah satu fungsi dari ring adalah untuk melakukan pendistribusian panas ke dinding liner. Besi cor digunakan sebagai bahan utama untuk ring piston (*federal Mogul, 1998*)

Pelapis untuk ring piston yang banyak digunakan. Salah satu contoh seperti lapisan adalah kromium, yang digunakan dalam kondisi abrasif dan korosif dimana kondisi berjalan parah. Keras chrome plating sangat relevan untuk cincin kompresi. Permukaan cincin piston yang, selain kromium plating, termal (plasma) disemprotkan dengan molybdenum, metal composites, metal-ceramic composites atau ceramic sebagai lapisan seragam atau bahan pelapis (*Mollenhauer, 1997*).

paduan molybdenum-nikel-kromium chromium oxide ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dengan metallic chromium, alumina-titania ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ), tungsten carbide (WC) with metallic cobalt binder,  $\text{MoSi}_2$ ,  $\text{CrC-NiCr}$  (*Dufrane, 1989, Radil, 2001*).

## 2.4 Connecting Rod

Dalam sebuah mesin diesel connecting rod berfungsi untuk menghubungkan piston ke crank shaft atau poros engkol, sistem ini membentuk mekanisme sederhana yang mengubah gerak lurus/linear menjadi gerak melingkar. Connecting rod juga dapat mengubah gerak melingkar menjadi gerak linear. Dalam sejarahnya, sebelum ada pengembangan mesin, connecting rod digunakan untuk hal ini terlebih dahulu. Karena batang piston itu kaku, maka ia dapat meneruskan tarikan dan dorongan, sehingga batang pistonnnya dapat merotasi crank melalui kedua bagian dari revolusi, yaitu tarikan piston dan dorongan piston (gerak naik turun piston).

Connecting Rod dibuat secara dinamis komponen yang digunakan untuk mentransmisi daya mesin dari hasil pembakaran. Optimalisasi connecting rod sudah dimulai sejak awal tahun 1983 oleh Webster dan timnya. Optimalisasi komponen ini adalah

untuk membuat atau menghasilkan produk yang lebih kuat, lebih ringan dan biaya rendah. Desain dan connecting rod berpengaruh pada kinerja mesin itu sendiri. Perubahan dalam desain struktural dan juga bahan akan mengalami kenaikan yang signifikan dalam berat dan kinerja mesin. (Mirehei dan dkk. 2008) dilakukan penelitian mengenai kelelahan material connecting rod pada traktor yang universal (U650) dengan menggunakan aplikasi software ANSYS. Penulis juga meneliti bahwa tekanan dan hotspot yang dialami connectinf rod dan stres serta faktor konsentrasi tegangan yang dialami dan digunakan untuk memprediksi life time. (Rahman dan dkk. 2008, 2009) yang membahas tentang FEA the cylinder block of the free piston engine.

Connecting rod menerima banyak beban dari siklus kerja yang berulang. Oleh karena itu, daya tahan komponen ini sangat penting. Hal ini diperlukan untuk mengetahui teknik pemodelan finite element, teknik optimasi dan desain baru untuk mengurangi berat conrod dan pada saat yang sama juga meningkatkan kekuatan connecting rod itu sendiri (Shenoy, 2004) Studi ini telah membahas dua bagian yaitu beban dinamis dan analisis stres quasi-dinamis connecting rod, dan mengoptimalkan berat dan biaya. (Shenoy dan Fatemi 2005) yang menjelaskan tentang Studi optimasi dilakukan pada baja yang ditempa dengan pertimbangan untuk perbaikan dalam berat dan biaya produksi

### **2.4.1 Material**

Pada analisa ini direncanakan menggunakan material dengan beberapa varian material yang dimana memiliki Chemical Composition seperti pada tabel 2.2

*Tabel 2.2 Chemical Composition Material Connecting Rod*

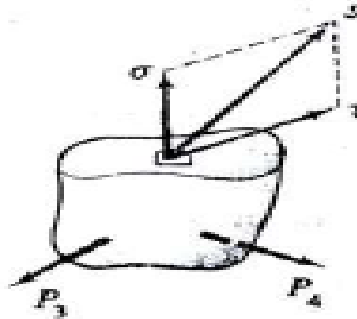


Element	AISI 1045
Carbon, C	0.420 - 0.50 %
Chromium, Cr	0.700 - 0.900
Iron, Fe	98.51 - 98.98 %
Manganese, Mn	0.60 - 0.90 %
Molybdenum, Mo	
Phosphorous, P	$\leq 0.040$ %
Silicon, Si	
Sulfur, S	$\leq 0.050$ %
Nickel, Ni	

## 2.5 Tegangan

### 2.5.1 Tegangan Normal

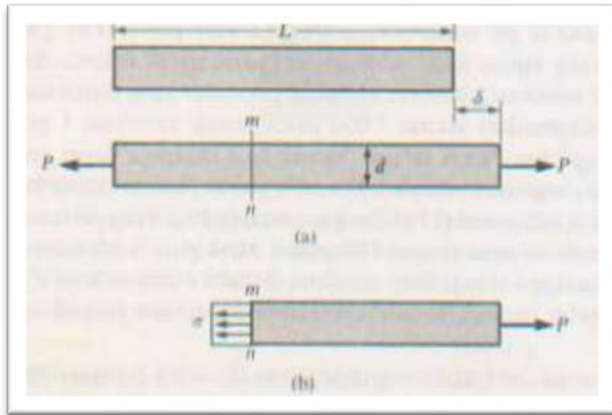
Gaya internal yang bekerja dalam sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya-gaya tersebut berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring pada bidang perpotongan (*ferdinand dan andrew, 1980*). Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan inersia



*Gambar 2.4 Komponen-Komponen Tegangan Normal dan Gaya Geser Dari Tegangan*

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan  $\zeta$  (sigma). Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utama dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial dan tegangan yang timbul dikenal dengan tegangan aksial.

Konsep dasar dari tegangan dan regangan dapat diilustrasikan dengan meninjau sebuah batang prismatik yang dibebani gaya-gaya aksial (*axsial force*)  $P$  pada ujung-ujungnya. Sebuah batang prismatik adalah sebuah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya. Untuk mengetahui tegangan-tegangan internal yang ditimbulkan gaya-gaya aksial dalam batang, dibuat suatu pemotongan garis khayal pada irisan  $mn$ . Dimana irisan diambil tegak lurus sumbu longitudinal pada batang. Karena itu irisan dikenal sebagai suatu penampang (*cross section*).



Gambar 2.5 Batang Prismatik Yang Dibebani Gaya Aksial

Tegangan normal dapat berbentuk:

1. Tegangan tarik (*tensile stress*)

Tegangan tarik adalah apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang tersebut cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada sebuah batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.6 gaya tarik aksial

2. Tegangan Tekan (*compressive stress*)

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya ini cenderung untuk memampatkan atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial tersebut

menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.



*Gambar 2.7 Gaya Tekan aksial*

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (stress) dan umumnya di tunjukan dengan huruf yunani  $\sigma$  (sigma). Dengan menganggap tegangan didistribusikan secara merata pada penampang batang, maka resultanya sama dengan intensitas  $\sigma$  kali luas penampang  $A$  dari batang selanjutnya, dari kesetimbangan benda yang diperlihatkan pada gambar...., besar resultan gayanya sama dengan benda  $P$  yang dikenakan, tetapi arahanya berlawanan. Sehingga diperoleh rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

dimana:  $\sigma$ : Tegangan ( $N/m^2$ )

$P$ : Gaya aksial (N)

$A$ : Luas ( $m^2$ )

### **2.5.2 Regangan Normal**

Regangan merupakan perubahan bentuk persatuan panjang pada suatu batang. Semua bagian bahan yang mengalami gaya-gaya Luar, dan selanjutnya tegangan internal akan mengalami pembetukan bentuk (regangan). Misalnya dipanjang bahan akan mengalami suatu beban tarik aksial akan teregang atau diperpanjang, sementara suatu kolom yang menopang suatu beban aksial akan tertekan atau diperpendek. perubahan bentuk total (total deformasi) yang dihasilkan suatu batang dinyatakan dengan huruf yunani  $\delta$  (delta). Jika panjang adalah  $L$ , Regangan (perubahan bentuk persatuan panjang) dinyatakan dengan huruf yunani  $\epsilon$  (epsilon), maka:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.2)$$

sesuai dengan hukum Hooke, tegangan adalah sebanding dengan regangan. Dalam hukum ini hanya berlaku pada kondisi tidak melewati batas elastik suatu bahan, ketika gaya dilepas. kesebandingan tegangan terhadap regangan dinyatakan sebagai perbandingan tegangan satuan terhadap regangan satuan atau perubahan bentuk. Pada bahan kaku tapi elastis seperti baja kita peroleh bahwa tegangan satuan yang diberikan menghasilkan perubahan bentuk satuan relatif kecil. Pada bahan yang lebih lunak tapi elastis seperti perunggu, perubahan bentuk yang disebabkan oleh intensitas tegangan yang sama dihasilkan perubahan bentuk sekitar dua kali dari baja dan pada aluminium tiga kali dari baja.

Regangan  $\varepsilon$  disebut regangan normal (normal strain) karena berhubungan dengan tegangan normal. Rumus regangan normal berdasarkan hukum Hooke :

$$\sigma = E \rightarrow \varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.3)$$

dimana:

$E$  = Modulus elastisitas tekan atau tarik

$P$  = Tegangan normal satuan

$\Sigma$  = Regangan normal satuan

Bentuk regangan normal :

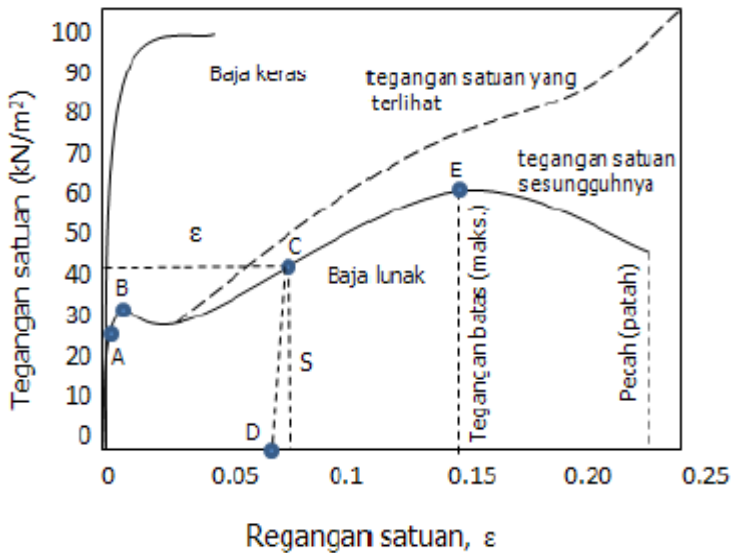
- Regangan tarik (tensile strain) : Terjadi jika batang mengalami tarik
- Regangan tekan (compressive strain) : Terjadi jika batang mengalami tekan

### 2.5.3 Penentuan Tegangan Izin dan Modulus Elastisitas Diagram Tegangan-Regangan

Pengujian tarik yang paling umum digunakan untuk logam adalah suatu mesin penguji yang menggunakan suatu gaya tarik yang dikendalikan dan naik secara perlahan sampai akhirnya batang mengalami patah atau pecah. Tarikan total pada batang di setiap saat selama pengujian diukur dengan menggunakan ekstensometer yang mampu mengukur hingga 0.0001 in. Dari pengukuran ini tegangan dan regangan satuan yang terlihat, dihitung kemudian diplot sehingga menghasilkan tegangan regangan seperti yang ditunjukkan pada gambar....

Pada baja lunak, tegangan yang diperoleh akan sebanding dengan regangan sampai pada tegangan sekitar 30 kN/m<sup>2</sup>, seperti yang ditunjukkan pada kurva titik A, sehingga membuktikan hukum Hooke. Untuk tegangan regangan selepas titik A, regangan naik dengan laju yang lebih cepat dari tegangan dan akibatnya A pada titik B, batas elastis bahan dicapai. Pada tegangan sekitar 33 kN/m<sup>2</sup> atau pada titik B, batas elastisitas bahan dicapai. Yaitu jika tegangan bekerja diluar titik ini batang tidak akan kembali lagi ke panjang awalnya setelah beban dilepas atau dengan kata lain disini diperoleh suatu set permanen.

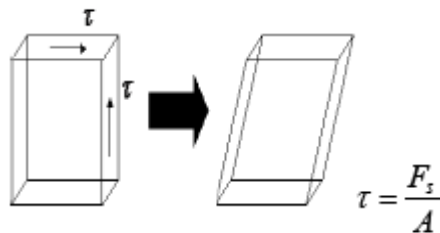
Setelah pengujian dilanjutkan sampai suatu titik tegangan maksimum kekuatan batas bahan dimana kemampuan batang untuk menahan, akhirnya dicapai pada titik E pada kurva. Di luar titik E, pemanjangan akan berlanjut tetapi secara perlahan tegangan berkurang sampai akhirnya batang mengalami patah.



Gambar 2.8 Diagram Tegangan Regangan Baja lunak

### 2.5.4 Tegangan Geser (*Shearing Stress*)

Tegangan geser adalah intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang tarik dari luas permukaan, dilambangkan dengan  $\tau$  (tau).



Gambar 2.9 Batang Yang Mengalami Tegangan Geser

### A. reganga geser

Hukum Hooke untuk keadaan geser  $\tau = G\gamma$       $\gamma = \frac{\tau}{G}$      ( 2.4)

Dimana :

$G$  : Modulus elastisitas geser

$\gamma$  : Regangan geser satuan, (radian)

$\tau$  : Tegangan geser satuan

### B. Defleksi batang beban aksial

Sebuah batang yang dibebani secara aksial (axially loaded)

Mengalami perubahan panjang. perubahan panjang yang terjadi dapat dihitung secara rumus :

$$E = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{P/A}{\Delta/L} = \frac{PL}{A\Delta} = \frac{PL}{AE} \quad ( 2.5)$$

Dimana:

$E$  = modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

$\epsilon$  = Regangan

$L$  = panjang batang (m)

$\Delta$  = perubahan panjang (m)

## 2.5.5 Kelelahan

Pada sebagian besar material, tegangan yang berfluktuasi antara dua nilai  $\sigma_{min}$  dan  $\sigma_{max}$ , lebih memungkinkan menyebabkan kegagalan dari pada tegangan tetap yang senilai dengan  $\sigma_{max}$ . Kegagalan yang disebabkan tegangan yang berfluktuasi dalam jangka waktu tertentu ini lah yang disebut kelelahan.

## 2.6 Tegangan Batas, Tegangan Ijin, Faktor Keamanan

$$\text{Tegangan ijin } (\sigma_{ijin}) = \frac{\text{tegangan lelah } (\sigma_y)}{\text{faktor keamanan } (n)} \quad ( 2.7)$$



Faktor keamanan (safety factor) adalah perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan.

$$\text{Faktor keamanan (n)} = \frac{\text{kekuatan sebenarnya}}{\text{kekuatan yang dibutuhkan}} \quad (2.8)$$

## 2.7 Analisa Termal

Permasalahan yang berkenaan dengan panas dapat digolongkan sebagai Steady-state atau transient, linear atau nonlinear. Analisa transient evolusi solusi dari waktu ke waktu dan sebagai tambahan terhadap pertukaran energi dengan lingkungan termasuk penyimpanan energi thermal. Analisa steady-state berkaitan dengan pemecahan point utama terhadap masalah pada boundry condition.

Nonlinearity merupakan solusi steady-state dan transient melalui beberapa area. Nonlinearity yang umum dihubungkan dengan temperature yang bergantung terhadap propertie suatu material, dalam thermal conductivity dan panas specific. Nonlinearity yang lain dikenalkan dari aplikasi boundry condition terutama terhadap konveksi dan radiasi. Semua analisa nonlinear perlu melibatkan pengulangan, estimasi kesalahan dan beberapa bentuk dari criteria konvergensi

### 2.7.1 Analisa Steady-State

Persamaan yang umum dipakai untuk kesetimbangan panas steady-state adalah sebagai berikut :

$$[K]\{u\} + [r]\{u\} = \{P\} + \{N\} \quad (2.9)$$

Dimana :

$[K]$  = heat conduction matrix

$[r]$  = perubahan radiation matrix

$\{u\}$  = vector dari temperatures yang tidak diketahui

Tabs = temperatur absolut

$\{P\}$  = vector dari laju aliran panas konstan

$\{N\}$  = vector dari temperature laju aliran panas yang tidak bebas

Persamaan diatas merupakan nonlinear karena adanya istilah radiasi dari daya pangkat empat, sebagai tambahan dari radiasi, kebanyakan nonlinear dimasukan kedalam persamaan ini melalui koefisien matriks dan boundry condition. Secara spesifik, nonlinearity dimasukan dengan menspesifikasi property material dan boundry condition sebagai batasan temperature.

### 2.7.2 Kondisi Awal Dari Analisa Steady-State

Karena persamaan nonlinear itu dilakuakn dengan skema yang berulang-ulang, perlu diperhatikan kondisi awal yang memiliki pengaruh kuat terhadap seberapa cepat permasalahan tersebut terselesaikan. Kondisi awal menyediakan point awal dari temperature untuk metode solusi yang iterative. Jelasnya, jika kita dapat dengan tepat melakukan solusi terhadap masalah kita, proses itu akan memusat pada iterasi pertama. Walaupun ini sangat sulit, suatu perkiraan awal yang baik dapat mempercepat pemusatan dengan jelas. Untuk masalah nonlinear yang rumit, perkiraan awal terhadap temperature sangat dibutuhkan untuk mencapai suatu pemusatan.

## 2.8 Perpindahan Panas (Heat Transfer)

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material (*Holman J.P, 1986*). Dari termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang berpindah itu dinamakan kalor atau panas (*Heat*). Ilmu ini dapat digunakan untuk meramalkan energi yang diperlukan untuk mengubah sistem dalam keadaan seimbang ke keadaan seimbang lain, tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan itu. Hal ini disebabkan pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak dalam keadaan seimbang. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama

dan kedua termodinamika, yaitu dengan memberikan beberapa kaidah percobaan yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan perpindahan energi

### 2.8.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradient suhu (*temperature gradient*), maka menurut pengamalan akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran, dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradient suhu normal.

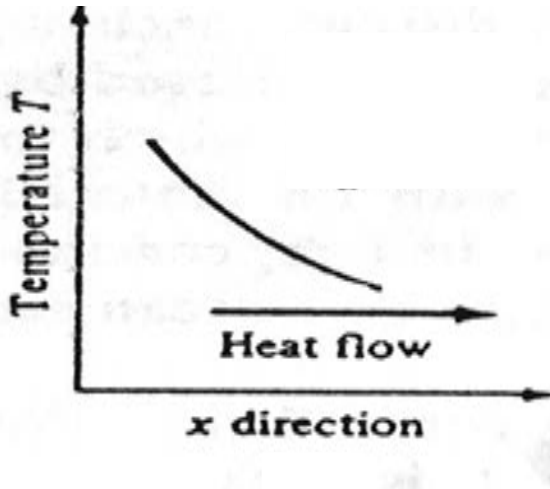
$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.10)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas (proporsionality constant) atau ketetapan kesebandingan, maka :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.11)$$

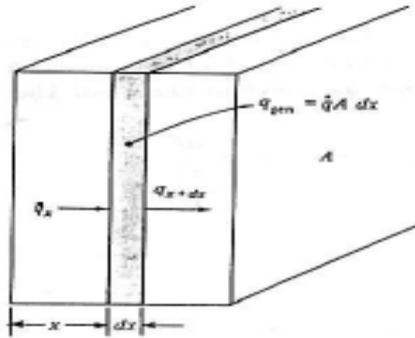
Dimana  $q$  ialah laju perpindahan kalor dan  $T/x$  merupakan gradient suhu kearah perpindahan kalor. Konstanta positif  $k$  disebut konduktivitas atau kehantaran thermal (*thermal conductivity*) benda itu, sedangkan tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu kalor mengalir dalam skala suhu, sebagaimana yang ditunjukkan dalam sistem koordinat pada gambar (2.10). Persamaan (2.11) disebut hukum fourier tentang konduksi kalor, yaitu menurut nama ahli matematika fisika bangsa Perancis, Joseph Fourier yang telah memberikan sumbangan yang sangat penting dalam pengolahan analitis masalah perpindahan kalor konduksi. Satuan  $k$  adalah watt per meter per derajat celcius (dalam sistem yang menggunakan watt sebagai satuan kalor). Dengan menggunakan persamaan sebagai titik awal sekarang dapatlah kita menentukan

persamaan dasar yang mengatur perpindahan kalor dalam zat padat.



Gambar 2.10 Bagan yang Menunjukkan Arah Aliran Kalor (asyari yunus, 2009)

Perhatikanlah suatu sistem satu dimensi sebagaimana yang ditunjukkan gambar 2.10. Jika sistem ini berada pada keadaan tunak (*steady state*), yaitu jika suhu tidak berubah menurut waktu, maka masalahnya sederhana saja dan kita hanya perlu melakukan integrasi pada persamaan (2.11) dan mensubstitusi nilai-nilai yang sesuai untuk memecahkan soal itu. Tetapi, jika suhu zat padat itu berubah menurut waktu atau jika ada sumber kalor (*heat source*) atau sumbu kalor (*heat sink*) dalam zat padat itu, maka situasinya akan menjadi lebih rumit.



Gambar 2.11 Volume Unsuran untuk Analisis Konduksi Kalor Satu Dimensi (asyari yunus,2009)

Untuk konduktifitas termal yang tetap (konstan), dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial T^2}{\partial x^2} + \frac{\partial T^2}{\partial^2 x} + \frac{\partial T^2}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.12)$$

Dimana besaran  $\alpha = k/\rho c$  disebut difusivitas termal atau kebauran termal (*thermal difucivity*) bahan. Makin besar nilai  $\alpha$ , makin sepat kalor membaur dalam bahan itu. Nilai  $\alpha$  yang besar dapat disebabkan oleh salah satu dari dua hal berikut. Pertama, nilai konduktivitas termal yang tinggi menunjukkan laju perpindahan energi yang pesat; atau yang kedua, dari nilai kapasitas kalor termal (*thermal heat capacity*)  $\rho c$  yang rendah. Nilai kapasitas kalor yang rendah berarti bahwa energi yang berpindah dari bahan itu yang diserap dan digunakan untuk menaikkan suhu jumlahnya lebih sedikit, jadi energi yang masih dapat dipindahkan lebih banyak. Satuan difusivitas termal  $\alpha$  adalah meter persegi per detik.

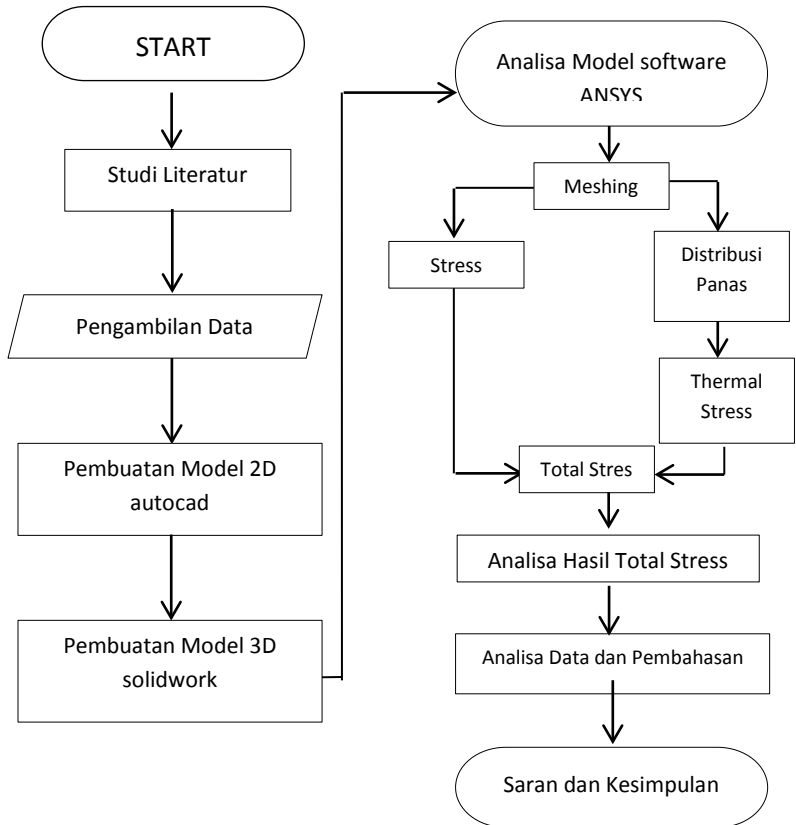
### 2.8.2 Konduktivitas Termal

Persamaan merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu, maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukannya konduktivitas termal berbagai bahan. Untuk gasgas suhu agak rendah, pengolahan analitis teori kinetik gas dapat dipergunakan untuk meramalkan secara teliti nilai-nilai yang diamati dalam percobaan. Untuk meramalkan konduktivitas termal zat cair dan zat padat, ada teori-teori yang dapat digunakan dalam situasi tertentu. Tetapi, pada umumnya dalam hal zat cair dan zat padat terdapat banyak masalah yang masih memerlukan penjelasan.

Mekanisme konduksi termal pada gas cukup sederhana. Energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, jadi pada bagian bersuhu tinggi molekul-molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi daripada bagian yang bersuhu rendah. Molekul-molekul itu selalu berada dalam gerakan acak, saling bertumbukkan satu sama lain, dimana terjadi pertukaran energi dan momentum. Perlu diingat molekul-molekul itu selalu dalam gerakan acak walaupun tidak terdapat gradien dalam gas itu. Jika suatu molekul bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, maka molekul itu mengangkut energi kinetik ke bagian sistem yang suhunya lebih rendah dan disini menyerahkan energinya pada waktu bertumbukan dengan molekul yang energinya lebih rendah.

## BAB III METODELOGI

### 3.1 Flow Chart Penulisan



*Gambar 3.1 Flow Chart Metode Penelitian*

### 3.2 Studi Literatur

Pada tahapan ini mengumpulkan beberapa data referensi baik dari buku , jurnal, internet dan data-data dari instansi yang terkait. Referensi tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam penulisan tugas ahir ini.

### 3.3 Pengambilan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data-data ukuran piston,pin piston ,ring piston dan conrod.pengambilan data dilakukan dengan pembongkaran mesin cummins untuk mengetahui ukuran - ukuranya sebagai acuan untun penggambaran ulang.

*Tabel 3.1 Data Mesin Cummins 4BTA3.9-C125  
(Cummins manual Book)*

Engine Model	:	4BTA 3.9-C125
Engine Type	:	4 Cylinders in Line
Displacement	:	3.9 L
Rated Speed	:	2200 rpm
Rated Power	:	93 kW (125 Hp)
Max.Torque/ speed	:	475 N.m @1500 rpm
Aspiration Method	:	T-charge & Intercooler
Emission standard	:	Euro I
Fuel Comsumtion	:	233 g/kW.h
Gross Weight	:	500 Kg



### 3.3.1 Material Piston

Pada analisa ini direncanakan menggunakan material almunium AlSi:

*Tabel 3.2 Chemical Composition of Aaluminum Piston Alloy  
(handbook of Diesel engine)*

Alloying elements %	AlSi alloys			
	Eutectic		Hypereutectic	
	AlSi 12 CuMgNi	AlSi 12 Cu4Ni2Mg	AlSi 18 CuMgNi	AlSi 25 CuMgNi
Si	11. . .13	11. . .13	17. . .19	23. . .26
Cu	0.8. . .1.5	3. . .5	0.8. . .1.5	0.8. . .1.5
Mg	0.8. . .1.3	0.5. . .1.2	0.8. . .1.3	0.8. . .1.3
Ni	0.8. . .1.3	1...3	0.8. . .1.3	0.8. . .1.3
Fe	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7
Mn	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.2	≤ 0.2
Ti	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2
Zn	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3

*Tabel 3.4 Material Propertis Aluminun Aloy Piston  
(Handbook Diesel Engine)*

Parameter		Eutectic		Hypereutectic	
		"AlSi 12 CuNiMg forged"	AlSi 12 Cu4Ni2Mg permanent moldcasting	AlSi 18 CuNiMg prmanent mold casting	AlSi 25 CuNiMg forged
Tensile strength	20 °C	300. . .370	200... 280	180. . .220	230. . .300
Rm	50 °C	250. . .300	180... 240	170. . .210	210...260
N/mm2	250 °C	80. . .140	100... 120	100. . .140	100. . .160

	350 °C	50...100	45... 65	60...80	60...80
Yield limit Rp 0.2 N/mm2	20 °C 150 °C 250 °C 350 °C	280...340 220...280 60...120 30...70	190...260 170... 220 80... 110 35... 60	170...210 150...190 100...140 20...40	220...260 200...250 80...120 30...40
Elongation at fracture A %	20 °C 150 °C 250 °C 350 °C	1...3 2.5...4.5 10...20 30...35	<1 <1 1.5...2 7...9	0.2...1.0 0.3...1.2 1.0...2.2 5...7	0.5...1.5 1...2 3...5 10...15
Fatigue strength (rotating bending fatigue) sbw N/mm2	20 °C 150 °C 250 °C 350 °C	110...140 90...120 45...55 30...40	100...110 80...90 50...55 35...40	80...110 60...90 40...60 15...30	90...120 70...110 50...70 20...30
Young's modulus E N/mm2	20 °C 150 °C 250 °C 350 °C	80,000 77,000 72,000 69,000	84,000 79,000 75,000 70,000	83,000 79,000 75,000 70,500	84,000 79,000 76,000 70,000
Thermal conductivity $\lambda$ W/(mK)	20 °C 150 °C 250 °C 350 °C	158 162 166 168	125 130 135 140	143 147 150 156	157 160 163 -
Mean linear thermal expansion 20...200 °C (1/K)x10 <sup>-6</sup>		20.6	20.0	19.9	20.3
Density $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )		2.68	2.77	2.68	2.68
Relative wear		1	0.8	0.8	0.9
Brinell hardness HB 2.5/62.5			90...125		

### 3.3.2 material Connecting Rod

Pada analisa onnecting Rod ini direncanakan menggunakan material C-70 steel dan AISi 1045 dengan material propertis :

*Tabel 3.5 Mechanical Ccompisotion Connecting Rod*

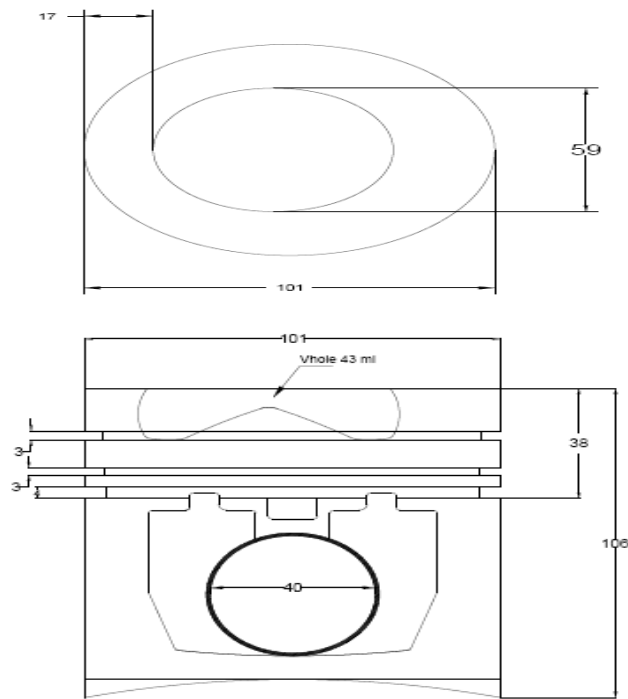
<b>Element</b>	<b>AISI 1045</b>
Carbon, C	0.420 - 0.50 %
Chromium, Cr	0.700 - 0.900
Iron, Fe	98.51 - 98.98 %
Manganese, Mn	0.60 - 0.90 %
Molybdenum, Mo	
Phosphorous, P	≤ 0.040 %
Silicon, Si	
Sulfur, S	≤ 0.050 %
Nickel, Ni	

*Tabel 3.6 Material Propertis Connecting Rod*

<b>Propertis</b>	<b>AISI 1045</b>
Hardness, Brinell	163
Hardness, Knoop (Converted from Brinell hardness)	184
Hardness, Rockwell B (Converted from Brinell hardn	84
Hardness, Vickers (Converted from Brinell hardness)	170
Tensile Strength, Ultimate	565 MPa
Tensile Strength, Yield	310 MPa
Elongation at Break (in 50 mm)	16,00%
Reduction of Area	40,00%
Modulus of Elasticity (Typical for steel)	200 GPa
Bulk Modulus (Typical for steel)	140 GPa
Poissons Ratio (Typical For Steel)	0,29
Shear Modulus (Typical for steel)	80 Gpa
Density	7.87 g/cc

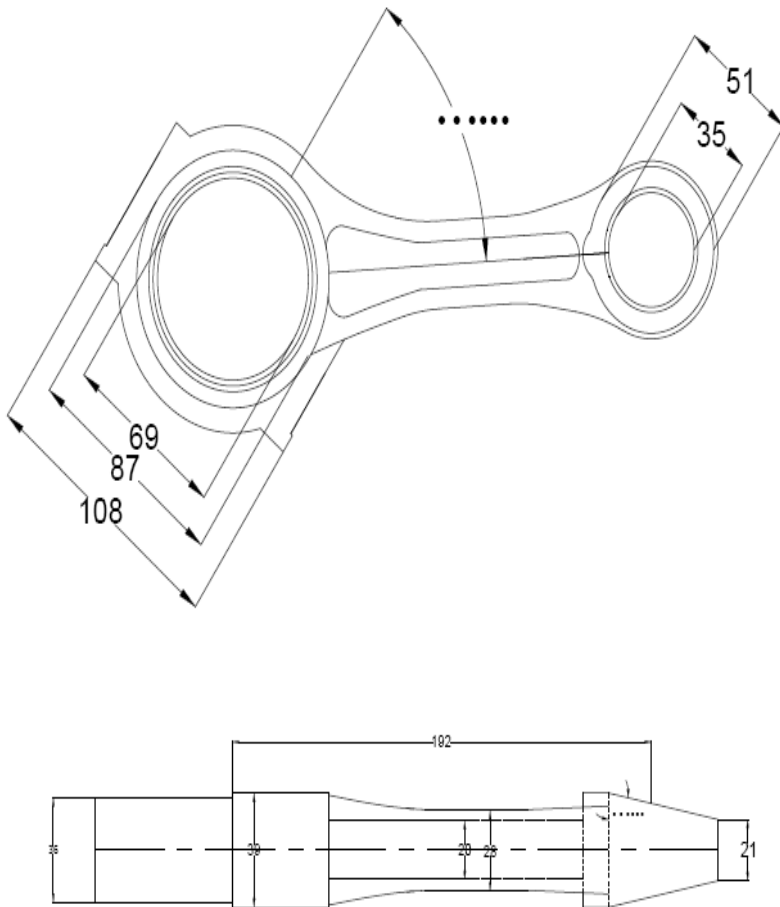
Propertis	C-70
E (GPa)	212
Yield Strength (MPa)	574
Percent Elongation	27
Percent Reduction in area	25
Ultimate Tensile Strength (MPa)	966
Tensile Strength (MPa)	339
Density (g/cc)	0,13
Thermal Conductivity (W/m-k)	0,039

3.3.3 Demensi Piston



Gambar 3.2 Piston 2D Dengan Dimensi Yang Sama

### 3.3.4 Deminsi Conneting Rod



*Gambar 3.3 Connecting Rod 2D Dengan Dimensi Yang Sama*

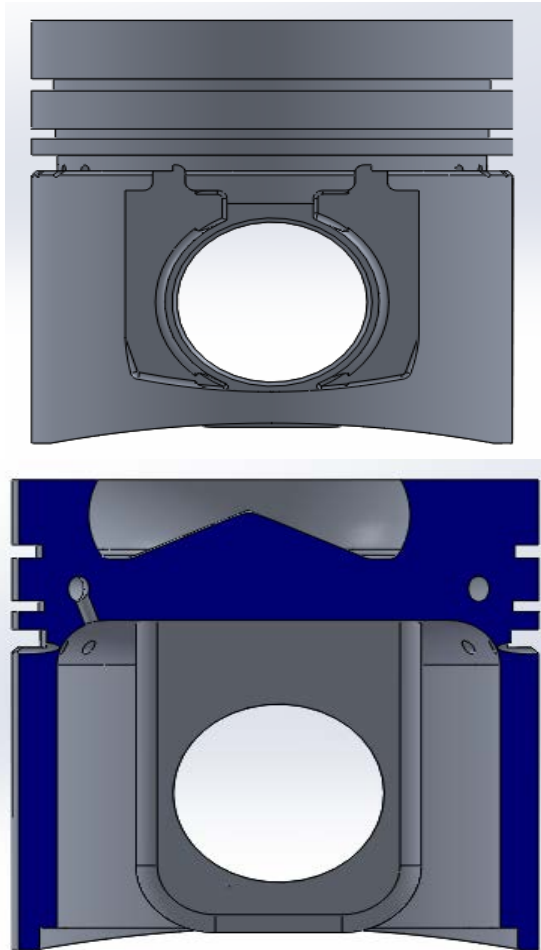


*Tabel 3.8 Tabel Data Distribusi Temperatur*

mm	T(°C)	T (K)
4.010528	2400.853	2675.003
10.36547	1450.069	1724.219
20.32082	1039.951	1314.101
30.02892	991.09	1265.24
40.81708	908.9646	1183.115
50.83078	832.4942	1106.644
60.92497	771.1186	1045.269
70.83164	720.024	994.174
80.24619	678.358	952.508
90.08094	639.862	914.012
100.5778	603.1009	877.2509
110.2052	569.1101	843.2601
119.9978	472.7881	746.9381

### 3.4 Pembuatan Model 2D pada software AutoCad

Dari data hasil pengukuran digunakan sebagai acuan penggambaran model 2D. File 2D yang dimana akan di export ke software solid work untuk dilakukan penggambaran 3D



*Gambar 3.5 Piston 3D Dengan Modifikasi Penambahan Lubang Pendingin*





*Gambar 3.6 Connecting Rod Dengan Penambahan Lubang Pendingin*

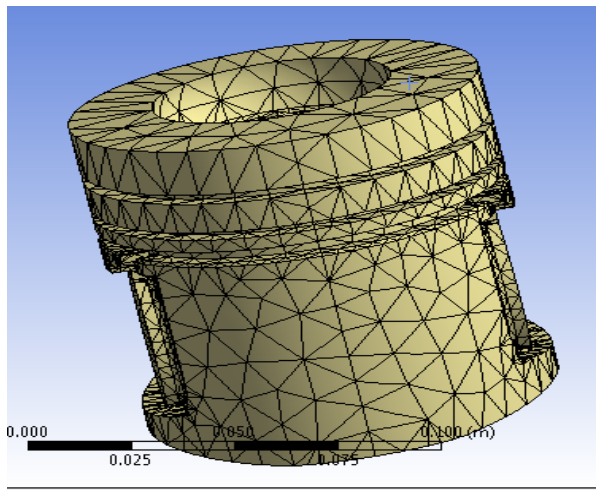
### **3.5 Analisa model**

Dalam tahap ini model 3D akan di meshing dan di imput beban dan thermal, beban dan tekanan di ambil yang paling besar. Setelah itu akan di analisa perubahanya. Model akan dia analisa pada kondisi stady-state dimana tekanan tidak berubah menurut waktu atau model dalam keadaan lunak .untuk analisa model lebih lanjut dibahas di bab tersendiri.

#### **3.5.1 Meshing**

Dalam proses ini dilakukan meshing terhadap model piston dan connecting rod. Meshing dilakukan sebagai awal mula dari simulasi . meshing adalah proses membagi geometri yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil.

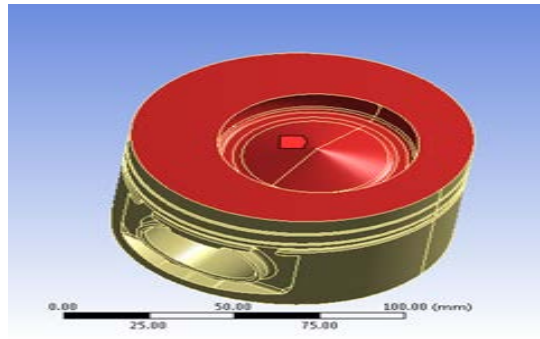
Relevance Center	Medium
Element Size	Default
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	coarse
MinimumEdge Length	.0773e-005 m



*Gambar 3.7 Desain Silinder Head Setelah Meshing*

### 3.5.2 distribusi panas

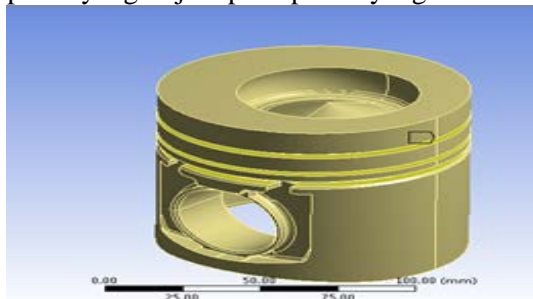
Dalam tahap ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar temperatur pada setiap bagian dari piston yaitu temperatur tertinggi dan temperatur terendah. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu menentukan temperatur sekitar yang dimana diasumsikan 20 derajat celsius, lalu menentukan temperatur tertinggi yaitu 326.85 °C



*Gambar 3.8 Inputan Boundry Temperatur Pembakaran Pada Permukaan piston Untuk Simulasi*

### 3.5.3 Convection

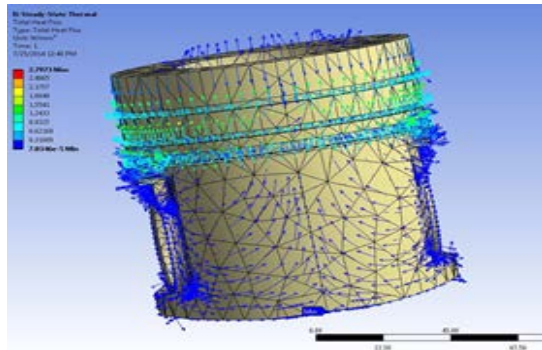
Dalam tahapan ini untuk mengetahui arah aliran perpindahan panas yang terjadi dimana dalam hal ini bondary diberikan pada area ring piston dikarenakan ring piston sebagai pengantar panas yang terjadi pada piston yang di aliran ke lainer



*Gambar 3.9 Inputan Boundry Convection Perpindahan Panas Pada Piston*

### 3.5.4 Heat Flow

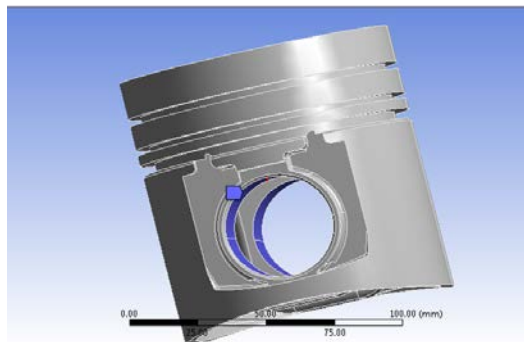
Pada analisa ini Heat flow dibutuhkan untuk mengetahui laju aliran panas yang akan disebarkan pada seluruh geometri



*Gambar 3.10 Inputan Boundry Heat Flow Perpindahan Panas Pada Piston*

### 3.5.5 Elastic Support

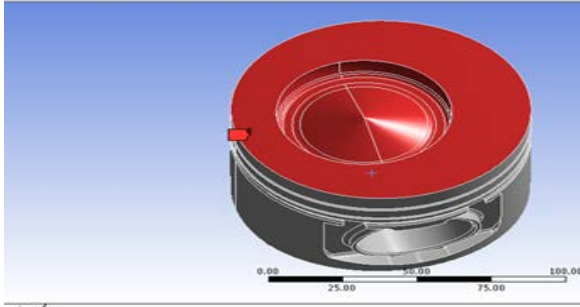
Elastic Support bertujuan untuk memberikan tahanan atau penyangga beban yang diterima piston. Pemberian beban elastic ini karna piston ketika diberi gaya tekan tidaklah diam atau dinamis. Elastic support dalam hal ini diberi menurut kekuatan nilai *yield* material itu



*Gambar 3.11 Inputan Elastic Support*

### 3.5.6 Presurure

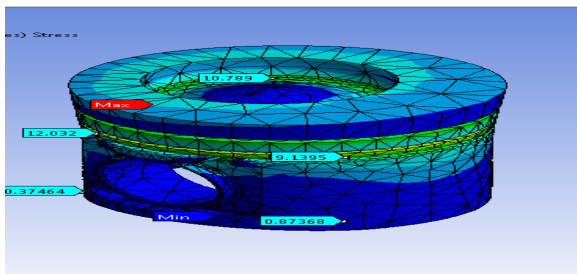
Dalam tahapan ini bertujuan sebagai imputan beban tekanan yang diterima oleh piston dimana imputan tekanan yang diberikan ke head piston sebesar 128.4467 Bar.



*Gambar 3.12 Inputan Tekanan Pembakaran Pada Permukaan piston*

### 3.5.7 Thermal Stress Analysis

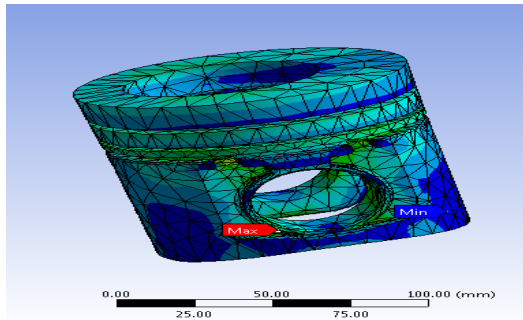
Dalam tahap simulasi thermal stress bertujuan untuk mengetahui besar tegangan yang terjadi pada piston akibat temperatur tinggi dari hasil pembakaran dirung bakar. dari data hasil simulasi distribusi temperatur kemudian dimasukkan pada static structural.



*Gambar 3.13 thermal Stress Yang Terjadi Pada Piston*

### 3.5.8 Pressure Stress Analysis

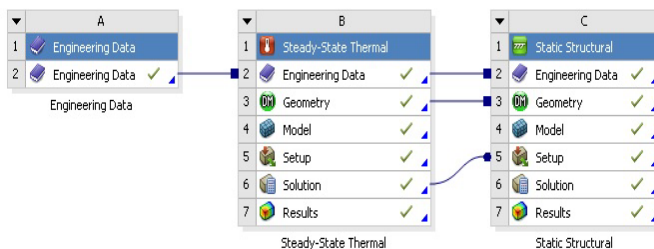
Dalam tahapan ini bertujuan untuk mengetahui stress yang terjadi pada piston yang diakibat oleh tekanan pembakaran . pada tahap ini di ambil tekanan pembakaran terbesar sebesar 128.4467 bar.



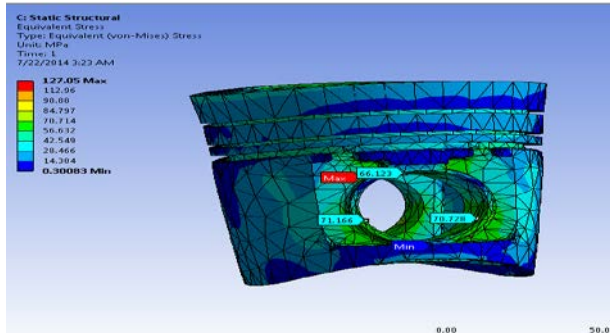
*Gambar 3.14 Pressure Stress Yang Terjadi Pada Piston*

### 3.5.9 Total Stress

Total stress merupakan tegangan hasil gabungan dari tegangan yang diakibatkan oleh temperatur dan tekanan. Setelah disimulasikan secara individu, pada tahap ini akan dilakukan simulasi yang melibatkan temperatur dan tekanan.



*Gambar 3.15 Bagan Urutan Simulasi Total Stress*



*Gambar 3.16 Total Stres Yang Terjadi Pada Material*

### 3.6 Analisa Data

Analisa data dilakukan pada model piston dan connecting rod dengan variasi material yang berbeda.

Untuk material piston :

- AlSi 12 CuNiMg forget
- AlSi 12 Cu4Ni2Mg permanent mold casting
- AlSi 18 CuNiMg permanent mold casting
- AlSi 25 CuNiMg forget

Untuk material connecting Rod :

- AISI 1045
- C-70

### 1.7 Kesimpulan

Dari hasil analisa model dengan beberapa empat macam varian material pada piston dan dua macam varian material pada connecting rod maka akan di ambil kesimpulan dan saran.

*Halaman ini Sengaja di Kosongkan*

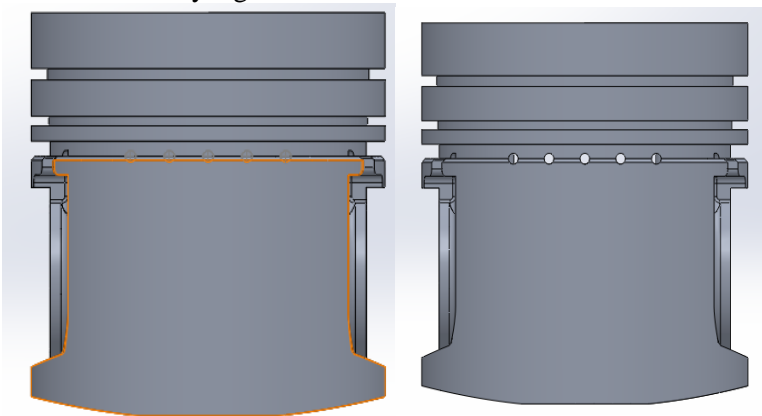


## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Definisi Umum**

Analisa dilakukan dengan memvariasikan beberapa macam material dan dua model pada piston namun dengan dimensi ukuran yang sama.



*Gambar 4.1 Gambar Model Piston Original Dan Piston setelah Diberi Lubang Alira Oil Pada Ring Oil*

Sedangkan pada Connecting Rod hanya menggunakan dua varian material dengan satu model yang sama . Material Piston AlSi 12 CuNiMg, AlSi 12 Cu4Ni2Mg, AlSi 18 CuNiMg dan AlSi 25 CuNiMg, Sedangkan pada material connecting rod AISi 1045 dan C-70. Dari variasi material tersebut dicari mechanical propertisnya dan chemical composition .

Sedangkan dari data hasil simulasi performa mesin yang sudah dilakukan sehingga mendapatkan data tekanan maksimal ,temperatur maksimal,temperatur head piston dan data-data lain yang dibutuhkan untuk simulasi

Compresi Rasio : 16.5:1  
 Suhu Pembakaran : 2400 °C  
 Suhu Head Piston : 326.85 °C  
 Tekana Pembakaran : 128, 4467 bar  
 Heat Transfer : 353 W  
 Heat Flow : 1779 w

Material piston propertis :

Tabel 4.1 Piston Material Propertis

Parameter		Eutectic			Hypereutectic	
		AISI 12 CuNiMg permanent	AISI 12 CuNiMg forged	AISI 12 Cu4Ni2M permanent mold casting	AISI 18 CuNiMg permanent mold casting	AISI 25 CuNiMg forged
Tensile strength Rm N/mm2	20 °C	200...250	300...370	200...280	180...220	230...300
	50 °C	180...200	250...300	180...240	170...210	210...260
	250 °C	90...110	80...140	100...120	100...140	100...160
	350 °C	35...55	50...100	45...65	60...80	60...80
Yield limit Rp 0.2 N/mm2	20 °C	190...230	280...340	190...260	170...210	220...260
	150 °C	170...200	220...280	170...220	150...190	200...250
	250 °C	70...100	60...120	80...110	100...140	80...120
	350 °C	20...30	30...70	35...60	20...40	30...40
Elongation at fracture A %	20 °C	0.1...1.5	1...3	<1	0.2...1.0	0.5...1.5
	150 °C	1.0...1.5	2.5...4.5	<1	0.3...1.2	1...2
	250 °C	2...4	10...20	1.5...2	1.0...2.2	3...5
	350 °C	9...15	30...35	7...9	5...7	10...15
Fatigue strength (rotating bending fatigue) sbw N/mm2	20 °C	90...110	110...140	100...110	80...110	90...120
	150 °C	75...85	90...120	80...90	60...90	70...110
	250 °C	45...50	45...55	50...55	40...60	50...70
	350 °C	20...25	30...40	35...40	15...30	20...30
Young's modulus E N/mm2	20 °C	80,000	80,000	84,000	83,000	84,000
	150 °C	77,000	77,000	79,000	79,000	79,000
	250 °C	72,000	72,000	75,000	75,000	76,000
	350 °C	65,000	69,000	70,000	70,500	70,000
Thermal conductivity λ W/(mK)	20 °C	155	158	125	143	157
	150 °C	156	162	130	147	160
	250 °C	159	166	135	150	163
	350 °C	164	168	140	156	-
Mean linear thermal expansion 20...200 °C (1/K)×10 <sup>-6</sup>		20.6	20.6	20.0	19.9	20.3
Density ρ (g/cm <sup>3</sup> )		2.68	2.68	2.77	2.68	2.68
Relative wear		1		0.8	0.8	0.9
Brinell hardness HB 2.5/62.5			90...125			

Material propertis connecting Rod:

*Tabel 4.2 Connecting Rod Material Propertis*

<b>Propertis</b>	<b>AISI 1045</b>
Hardness, Brinell	163
Hardness, Knoop (Converted from Brinell hardness)	184
Hardness, Rockwell B (Converted from Brinell hardness)	84
Hardness, Vickers (Converted from Brinell hardness)	170
Tensile Strength, Ultimate	565 MPa
Tensile Strength, Yield	310 MPa
Elongation at Break (in 50 mm)	16,00%
Reduction of Area	40,00%
Modulus of Elasticity (Typical for steel)	200 GPa
Bulk Modulus (Typical for steel)	140 GPa
Poissons Ratio (Typical For Steel)	0,29
Shear Modulus (Typical for steel)	80 Gpa
Density	7.87 g/cc
<b>Propertis</b>	<b>C-70</b>
E (GPa)	212
Yield Strength (MPa)	574
Percent Elongation	27
Percent Reduction in area	25
Ultimate Tensile Strength (MPa)	966
Tensile Strength (MPa)	339
Density (g/cc)	0,13
Thermal Conductivity (W/m-k)	0,039

Dari materia propertisl yang di dapat di input ke software ANSYS yang di input pada colom engginering data .

## 4.2 Analisa Thermal

Analisa dengang menggunakan beberapa macam material dan dua model geometry , Analisa thermal dilakukan pada kondisi stady-state dimana model di analisa dalam kondisi tunak atau suhu tidak berubah menurut waktu. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui persebaran panas yang terjadi pada piston dan ketika di beri beban temperatur selain itu analisa ini digunakan sebagai imputan untuk analisa thermal stress.

Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam analisa:

1. Imput Material dan Propertis

Dari data material yang sudah di dapat di imput ke engineering data pada software ANSYS

2. Pembuata Meshing

Meshing dilakukan dengan :

Relevance Center	Medium
Element Size	Default
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	coarse
MinimumEdge Length	.0773e-005 m

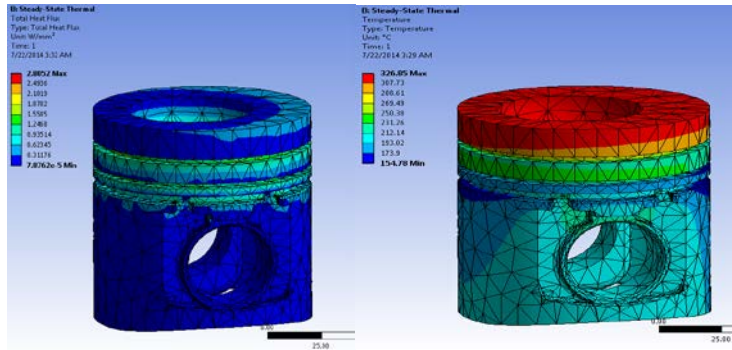
3. Solve

Solve dilakukan pada setiap boudry condition agar model dapat dianalisa pada semua kondisi.

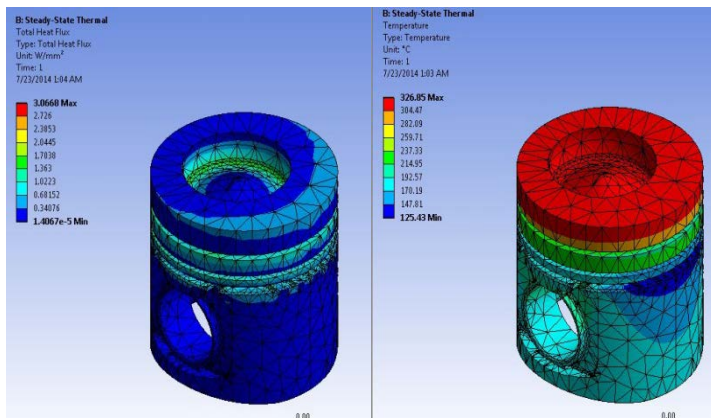
#### 4. Analisa Model

Pada analisa model ini dilakukan dengan dua type model yaitu pada model yang original dan model yang telah dimodifikasi dengan penambahan lubang pada area ring oil:

Model dianalisa pada kondisi (*steady-state*),



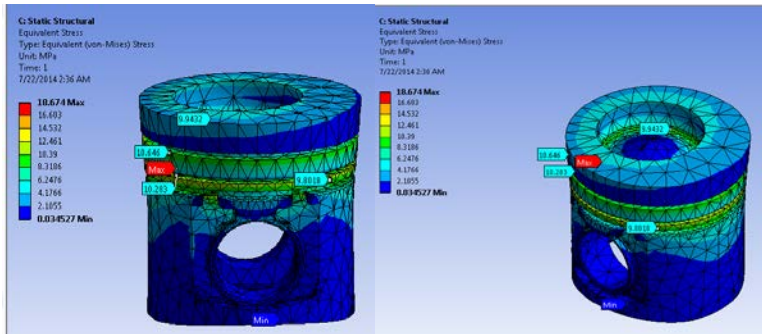
Gambar 4.2 Analisa Thermal Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Forget dengan model original



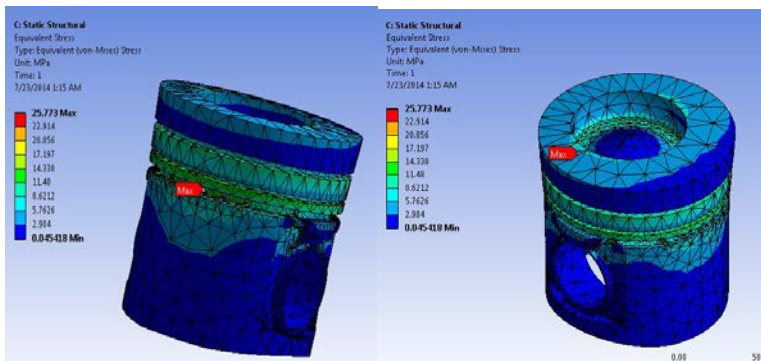
Gambar 4.3 Analisa Thermal Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Forget dengan penambahan Lubang pada ring oil

### 4.3 Analisa Thermal Stress Pada Piston

Dalam tahap analisa thermal stress ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan material terhadap beban yang diberikan dan pengaruh perubahan model dengan penambahan lubang pada ring oil



*Gambar 4.4 Analisa Thermal Stress Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Forget Tanpa penambahan Lubang pada ring oil*



*Gambar 4.5 Analisa Thermal Stress Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Forget Dengan penambahan Lubang pada ring oil*

Dari gambar diatas menunjukan bahwa dengan beban thermal yang sama dan material yang sama maka beban thermal yang paling besar dialami oleh model piston yang mengalami perubahan dengan penambahan lubang oil pada area ring oil. Tanpa adanya penambahan lubang pada area ring oil piston mengalami thermal stress sebesar 18.674 Mpa sedangkan dengan adanya penambahan lubang pada area ring oil maka pada area tersebut mendapat thermal tertinggi sebesar 25.773 Mpa.

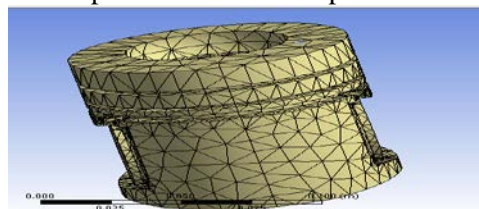
#### 4.4 Analisa Tegangan Total Pada Piston

Pada Analisa ini dilakukan dengan memvariasikan beberapa material dengan CR yang sama dan duan model yang berbeda dimana model yang pertama sama tanpa adanya penambahan lubang pada ring oil sedangkan pada model yang kedua dengan penambahan lubang pada ring oil, material diberi beban berupa temperatur dan tekanan yang sama sehingga nantinya dapat mengetahui tegangan total yang terjadi pada material piston dan perbedaan tegangan pada dua model piston tersebut, Dari nilai tegangan tersebut maka dibatasi dengan faktor safety dan di ambil nilai tertinggi ,sehingga piston tersebut dinyatakan dapat beroperasi pada kondisi tersebut.

Berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam analisa struktur piston :

##### 1. Pembuatan Meshing

Meshing dilakukan pada seluruh model piston



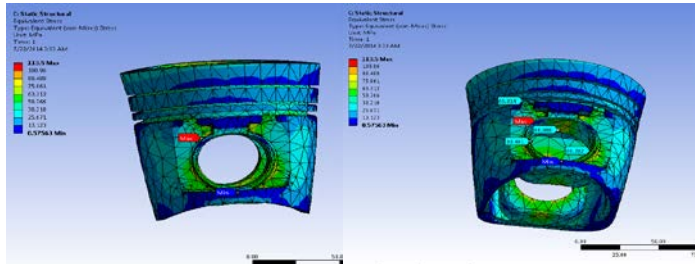
*Gambar 4.6 Meshing Pada Piston*

## 2. Imput Material Propertis

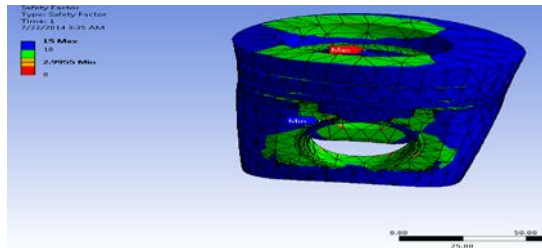
Imputan material propertis yang telah didapat dari thermal distribusi ditambahkan dengan imputan tekanan sebesar 128.5 bar

## 3. Analisa Model

Model dianalisa pada kondisi stady-state dimana model di analisa dalam kondisi tunak atau tidak ada pengaruh tegangan terhadap waktu. Dalam analisa ini ada dua model yang berbeda dan dengan empat macam material.

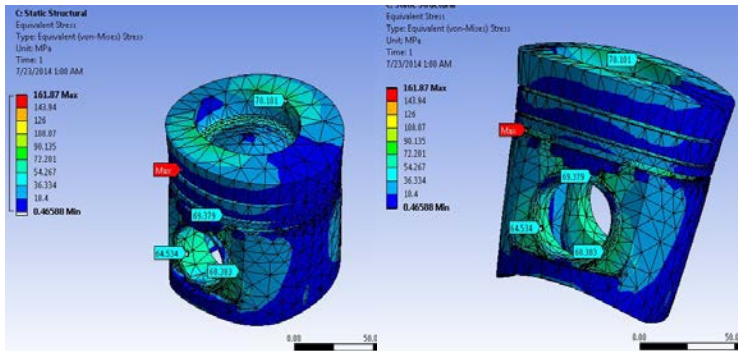


*Gambar 4.7 Teganga Total yang Diterima Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Tanpa Adanya Penambahan Lubang Pada Area Ring*

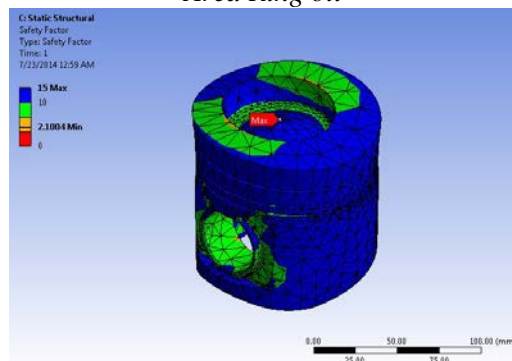


*Gambar 4.8 Safety Factor yang Diterima Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Tanpa Adanya Penambahan Lubang Pada Area Ring*





*Gambar 4.9 Teganga Total yang Diterima Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg Dengan Adanya Penambahan Lubang Pada Area Ring oil*



*Gambar 4.10 Safety Factor yang Diterima Pada Material Piston AlSi 12 CuNiMg dengan Adanya Penambahan Lubang Pada Area Ring Oil*

Dari data gambar diatas maka dapat diketahui dengan material yang sama dan tekanan dan thermal yang sama namun dengan dua model yang berbeda maka akan diketahui total stress terbesarnya dimana model yang tanpa mengalami penambahan lubang pada area ring oil mengalami total stress lebih kecil yaitu 113.5 Mpa dengan safety factor 2.9 Sedangkan Pada piston yang

mengalami penambahan lubang pada area ring oil mengalami total thermal terbesar 25.773 dengan safety factor 2.1 hal ini karena total stress dialami pada area lubang di ring oil

#### 4.5 Analisa Tegang Pada Connecting Rod

Analisa ini dengan memberikan dua varian material pada yaitu C-70 dan AlSi 1045. dari dua material tersebut maka akan diketahui Nilai tegangan yang terjadi pada connecting Rod. Berikut Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisa connecting rod:

##### 1. Imput Data

Imput data material dilakukan pada software. imputan ini sebagai langkah awal untuk melakukan analisa

##### 2. Pembuatan Meshing

Meshing dilakukan pada seluruh model piston

##### 3. Imput Beban

Imputan beban atau gaya yang terjadi pada connecting Rod  
Dimana Pmax : 128.6 bar ( $12850 \text{ Kn/m}^2$ )

- Piston Force (FK) =  

$$= 1/4 \cdot 3.14 \cdot D^2 \cdot P_{\text{max}}$$

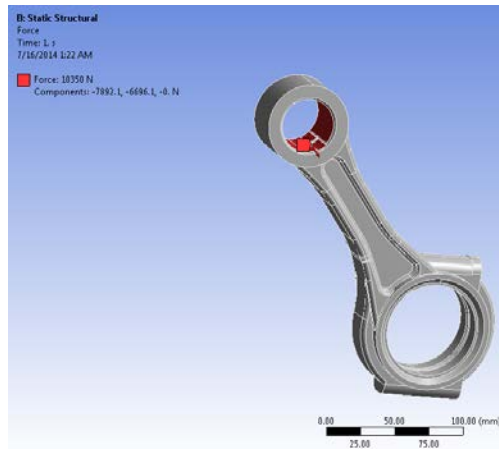
$$= 1/4 \cdot 3.14 \cdot 101^2 \cdot 12850 \text{ Kn/m}^2$$

$$= 102.9 \text{ KN}$$
- Force Conrod (FPL) =  

$$= FK / \cos 5^\circ$$

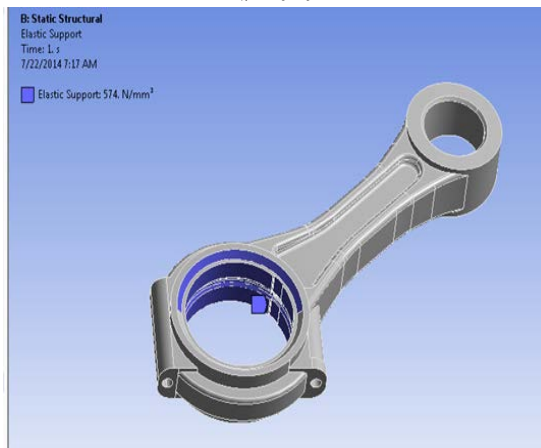
$$= 105.35 \text{ Kn}$$

Beban di berikan pada connecting rod sebesar 105.35 Kn



*Gambar 4.11 Pembebanan Pada Connecting Rod*

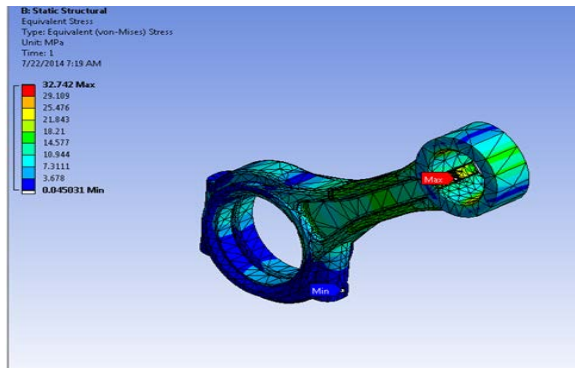
Sedangkan pada crank and diberikan beban elastis sebesar  $574 \text{ N/mm}^2$



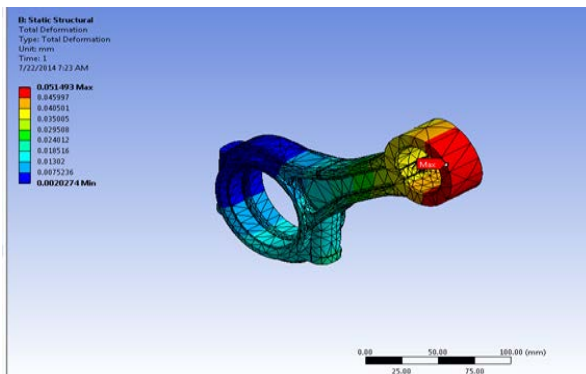
*Gambar 4.12 Pembebanan Pada Connecting Rod Crank and*

#### 4. Analisa Model

Analisa model ini untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada connecting Rod Dari nilai tegangan tersebut maka dibatasi dengan faktor safety dan di ambil nilai terrendah, sehingga piston tersebut dinyatakan dapat beroperasi pada kondisi tersebut



*Gambar 4.13 Teganga Total Pada Connecting Rod AlSi C-70*



*Gambar 4.14 Total Deformasi Pada Connecting Rod AlSi C-70*

Dari data gambar analisa diatas maka dapat diketahuai tegangan terbesar terjadi pada area lubang oil pada connecting Rod sedangkan total deformasi pada area crank bagian atas

## 4.6 Pembahasan

### 4.6.1 Analisa Struktur

*Tabel 4.3 Data hasil Tegangan Dan Safety factor Pada Piston Dan Connecting Rod*

Model Tanpa Lubang Oil Pada Area Ring Oil

Material Piston	CR	Tekanan Maksimal (bar)	Tekanan Maksimal (N/mm <sup>2</sup> )	Stress Naksimal (N/mm <sup>2</sup> )		Safety Factor
				Max	Min	
AlSi 12 CuNiMg forget	16.5	128.5	12,85	113,5	0.5756	2.99
AlSi 12 Cu4Ni2Mg	16.5	128.5	12,86	127.05	0.30083	20.465
AlSi 18 CuNiMg	16.5	128.5	12,87	136.41	0.541	1.539
AlSi 25 CuNiMg	16.5	128.5	12,88	126.76	0.30039	2.051

Model Menggunakan Lubang Pada Area Ring Oil

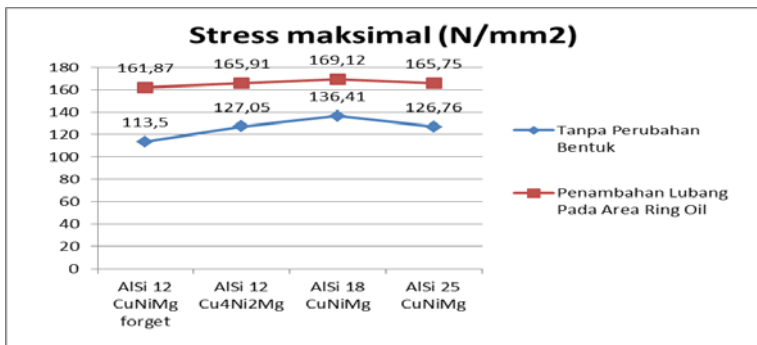
Material Piston	CR	Tekanan Maksimal (bar)	Tekanan Maksimal (N/mm <sup>2</sup> )	Stress Naksimal (N/mm <sup>2</sup> )		Safety Factor
				Max	Min	
AlSi 12 CuNiMg forget	16.5	128.5	12,85	161.87	0.465	2.1
AlSi 12 Cu4Ni2Mg	16.5	128.5	12,86	165.91	0.3761	1.567
AlSi 18 CuNiMg	16.5	128.5	12,87	169.12	0.7687	1.241
AlSi 25 CuNiMg	16.5	128.5	12,88	165.75	0.383	1.56

Material Conrod	CR	Tekanan Maksimal (bar)	Tekanan Maksimal (N/m <sup>2</sup> )	Stress Naksimal (N/mm <sup>2</sup> )		Safety Factor
				Max	Min	
C-70	16.5	128.5	12,85	32.74	0.045	15
AlSi 1045	16.5	128.6	12,86	32.742	0.077	9.4

Dari data di atas maka dapat diketahui bahwa material AlSi 12 CuNiMg lebih mampu menerima tegangan dengan safety faktor Lebih tinggi, Denga adanya dua analisa model yang

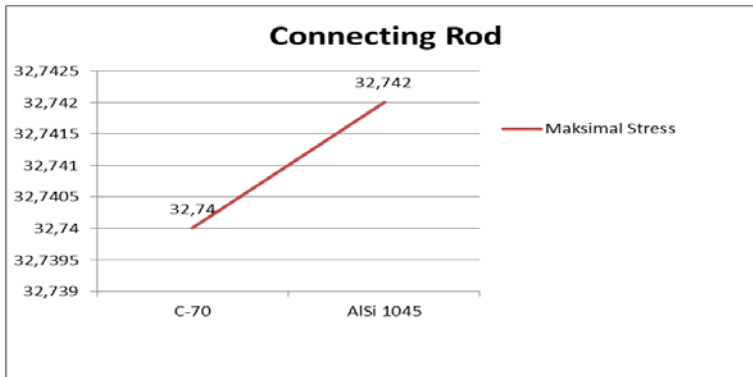
berbeda maka piston yang tanpa menggunakan lubang pada area ring oil total stressnya lebih kecil namun sama memiliki faktor safety yang lebih tinggi dari material yang lain. dengan demikian material ini dapat diaplikasikan pada mesin diesel 125 Hp.

Sedangkan pada material connecting Rod semuanya memiliki faktor safety yang tinggi, oleh sebab itu kedua material ini mampu untuk diaplikasikan namun total stress terbesar terjadi pada area lubang oil pendingin namun ini dapat ditoleransi karena material cukup kuat untuk menerima total stress yang terjadi dengan demikian kedua material ini dapat diaplikasikan pada mesin diesel 125 Hp



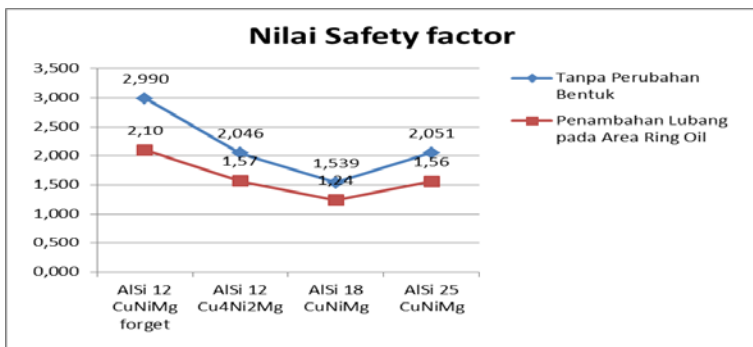
*Grafik 4.1 Tegangan Yang Terjadi Pada Piston*

Dari grafik diatas menunjukkan dua perbandingan bentuk model piston dengan empat macam varian material. Dimana model yang mengalami penambahan lubang pada area ring oil mengalami stress maksimal lebih besar. Sedangkan pada perbandingan empat macam varian material stress paling kecil dialami oleh material AlSi12 CuNiMg.



*Grafik 4.2 Tegangan Yang Terjadi Paada connecting rod*

Dari gambar grafik diatas menunjukkan maksimal stress yang di alami material C-70 lebih kecil namun dengan perbedaan maksimal stress yang sangat kecil bisa.



*Grafik 4.3 Nilai Safety Factor material Piston*

Dari grafik diatas menunjukkan nilai dari safety factor material AlSi 12 lebih tinggi meskipun ada penambahan lubang pada area ring oil.

#### 4.6.2 Analisa Thermal

*Tabel 4.4 Hasil Analisa Thermal stress*

Model Tanpa Lubang Oil Pada Area Ring Oil

Material Piston	CR	Distribusi termal (°C)		Heat flux (W/mm2)	
		Max	Min	Max	Min
AlSi 12 CuNiMg forget	16.5	326.85	154.78	2,8052	0,7872
AlSi 12 Cu4Ni2Mg	16.5	326.85	135.22	2,5117	0,6405
AlSi 18 CuNiMg	16.5	326.85	146.38	2,6806	0,7233
AlSi 25 CuNiMg	16.5	326.85	154.25	2,7975	0,7846

Model Menggunakan Lubang Oil Pada Area Ring Oil

Material Piston	CR	Distribusi termal (°C)		Heat flux (W/mm2)	
		Max	Min	Max	Min
AlSi 12 CuNiMg forget	16.5	326.85	125.43	3,0668	0,14067
AlSi 12 Cu4Ni2Mg	16.5	326.85	106.49	2,7196	0,70061
AlSi 18 CuNiMg	16.5	326.85	117.19	2,9184	0,91877
AlSi 25 CuNiMg	16.5	326.85	124.9	3,0574	0,16497

Model Tanpa Lubang Oil Pada Area Ring Oil

Material Piston	CR	Piston Head Temper	thermal stress (N/mm2)
AlSi 12 CuNiMg forget	16.5	326.85	18,674
AlSi 12 Cu4Ni2Mg	16.5	326.85	19,036
AlSi 18 CuNiMg	16.5	326.85	18,716
AlSi 25 CuNiMg	16.5	326.85	19.322

Model Menggunakan Lubang Oil Pada Area Ring Oil

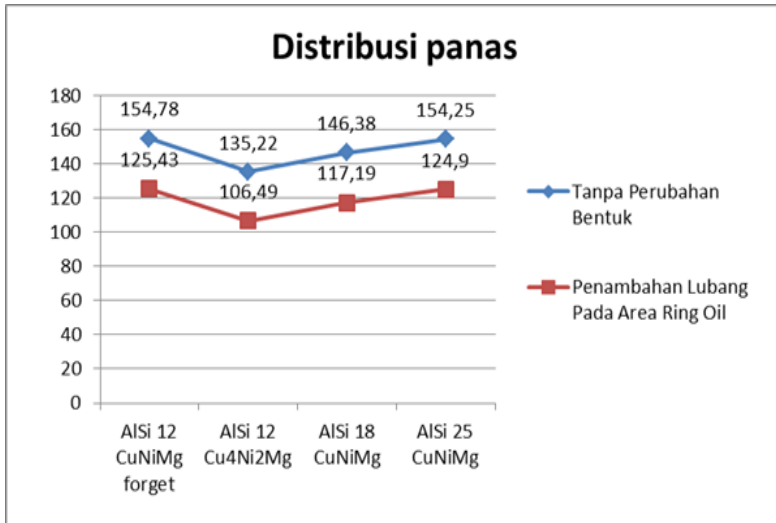
Material Piston	CR	Piston Head Temper	thermal stress (N/mm2)
AlSi 12 CuNiMg forget	16.5	326.85	25.773
AlSi 12 Cu4Ni2Mg	16.5	326.85	26.275
AlSi 18 CuNiMg	16.5	326.85	25.831
AlSi 25 CuNiMg	16.5	326.85	26.667

Dari data diatas dapat diketahui bahwa distribusi temperatur maksimal terkecil pada material AlSi12 CuNiMg dengan temperatur 154.75° C pada model piston yang tanpa

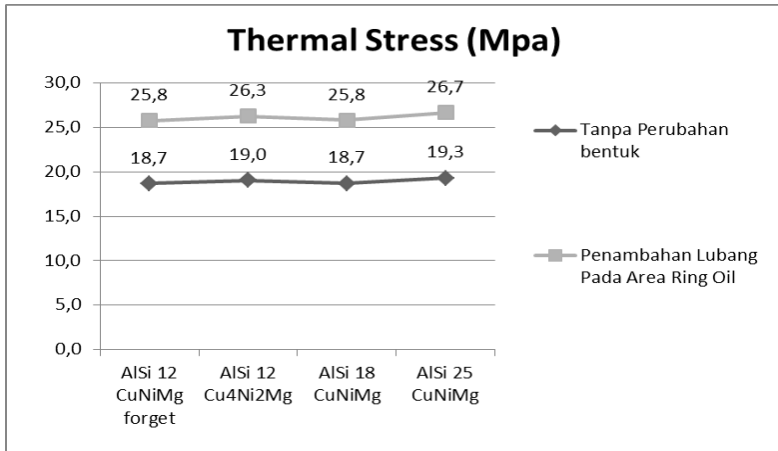


menggunakan lubang oil pada area ring oil sedangkan pada model yang menggunakan lubang pada area ring oil material mengalami temperatur terkecil sebesar  $125.43^{\circ}\text{C}$ . Hal ini disebabkan karena stress yang terjadi lebih besar.

Sedangkan pada thermal stress terkecil dialami pada material AlSi 12 CuNiMg sebesar  $18.672\text{ N/mm}^2$  pada model pistong yang tanpa menggunakan lubang aliran oil pada area ringoil, Sedangkan pada model yang menggunakan lubang pada area ring oil maka thermal stress yang terjadi pada material AlSi12 CuNiMg sebesar  $25.773\text{ N/mm}^2$

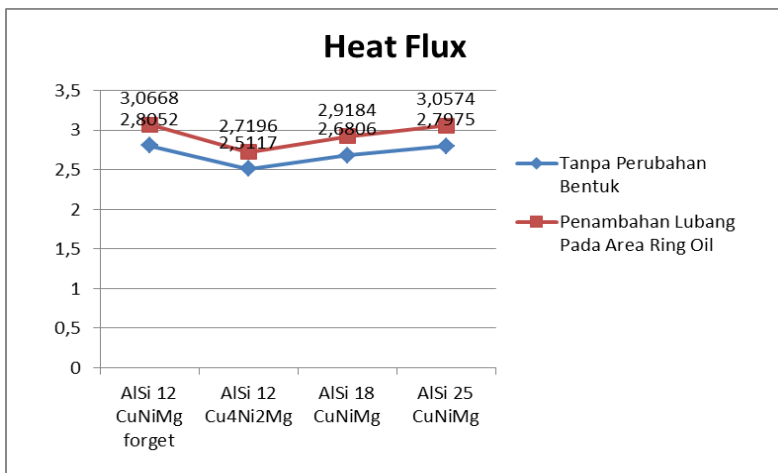


*Grafik 4.4 Distribusi Panas Yang Terjadi Paada Piston*



*Grafik 4.5 Thermal Stress Yang Terjadi Paada Piston*

Dari grafik diatas menunjukan bahwa thermal stress yang di alami piston tanpa penambahan lubang pada area ring oil lebih besar dan thermal stress yang paling besar dialami material AlSi 25



*Grafik 4.6 heat FluxYang Terjadi Paada Piston*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan yang terjadi pada piston dengan Material AlSi 12 CuNiMg sebesar  $113.5 \text{ N/mm}^2$  dengan faktor safety 2.9 pada model yang menggunakan lubang aliran oil pada ring oil sedangkan letak tegangan tersebut berada di area pin piston. Dengan adanya perubahan bentuk piston dengan menggunakan lubang oil pada area ring oil maka tegangan maksimal mencapai  $161.87 \text{ N/mm}^2$  dengan safety faktor 2.1 hal ini karena lubang pada area ring oil menjadi pusat tegangan terbesar.
2. tegangan pada connecting rod untuk material C-70 mengalami tegangan maksimal paling besar yaitu  $32.74 \text{ N/mm}^2$  namun memiliki safety faktor yang cukup tinggi 15
3. Dari data diatas dapat diketahui bahwa distribusi temperatur pada material AlSi12 CuNiMg sebesar  $154.78^\circ \text{C}$  pada model piston yang tanpa menggunakan lubang aliran oil pada area ring oil sedang pada model yang menggunakan lubang aliran oil pada area ring oil memiliki distribusi thermal sebesar  $125.43^\circ \text{C}$
4. thermal stress yang terjadi pada material AlSi12 CuNiMg  $18,674 \text{ N/mm}^2$  Tanpa menggunakan lubang aliran oil pada area ring oil namun pada model yang menggunakan lubang aliran oil pada area ring oil thermal stress  $25.773 \text{ N/mm}^2$

## 5.1 Saran

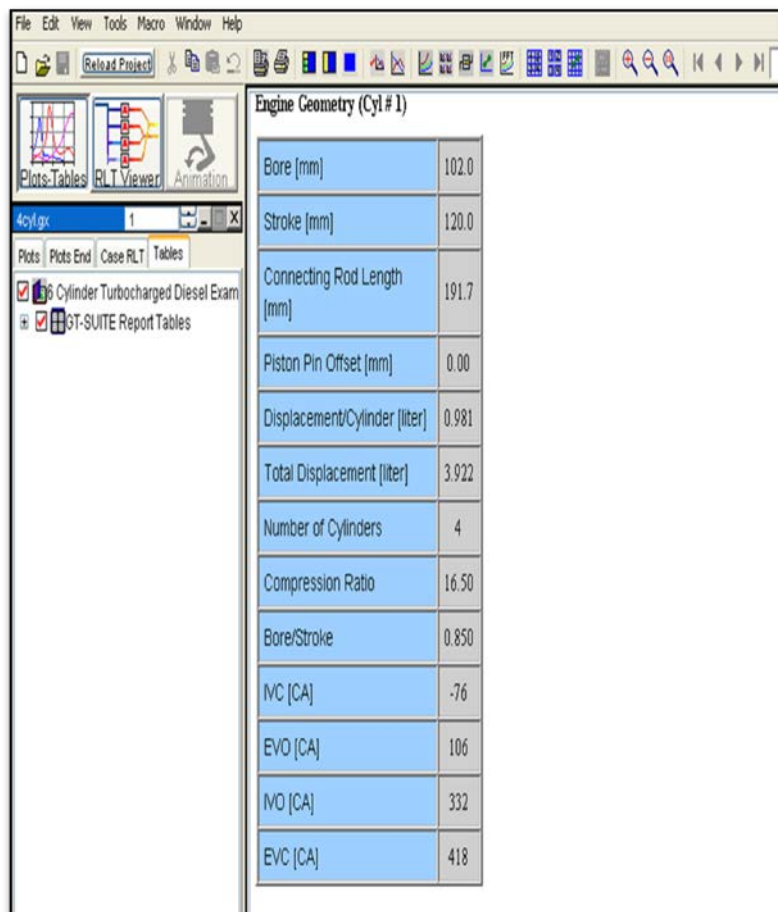
Dari penulisan masih banyak kekurangan, sehingga beberapa saran penulis :

1. Penulis selanjutnya di harapkan menambahkan Pengaruh pendinginan terhadap piston
2. Diharapkan penulis selanjutnya dapat menghitung tinjauan dari segi ekonomis
3. Penulis selanjutnya di harapkan menambahkan analisa pada connecting rod dengan penambahan pengaruh tekana bolt pada crank end

## **Lampiran**

## Data Hasil Simulasi

File	Edit	View	Tools	Macro	Window	Help
<div> </div>						
<div> <div> <div>Plot</div> <div>Plot End</div> <div>Case RL1</div> <div>Tables</div> </div> <div> <div> </div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Area [mm²]</div> <div>hg_eff [W/m²-K]</div> <div>Tg_eff [K]</div> <div>T_wall [K]</div> <div>Q_conv [W]</div> <div>Q_rad [W]</div> <div>Q_total [W]</div> <div>Q_flux [kW/m²]</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Piston 1</div> <div>5099</div> <div>569</div> <div>1095</div> <div>600</div> <div>1435</div> <div>365</div> <div>1799</div> <div>353</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Piston 2</div> <div>3930</div> <div>569</div> <div>1095</div> <div>600</div> <div>1106</div> <div>281</div> <div>1387</div> <div>353</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Piston 3</div> <div>1593</div> <div>569</div> <div>1095</div> <div>600</div> <div>448</div> <div>114</div> <div>562</div> <div>353</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Head 1</div> <div>5842</div> <div>569</div> <div>1095</div> <div>570</div> <div>1743</div> <div>418</div> <div>2162</div> <div>370</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Head 2</div> <div>3718</div> <div>569</div> <div>1095</div> <div>570</div> <div>1109</div> <div>266</div> <div>1376</div> <div>370</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Head 3</div> <div>1062</div> <div>569</div> <div>1095</div> <div>570</div> <div>317</div> <div>76</div> <div>393</div> <div>370</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Cylinder 1</div> <div>6543</div> <div>377</div> <div>957</div> <div>480</div> <div>1178</div> <div>48</div> <div>1226</div> <div>187</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Cylinder 2</div> <div>13081</div> <div>193</div> <div>667</div> <div>480</div> <div>474</div> <div>0</div> <div>474</div> <div>36</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Cylinder 3</div> <div>19624</div> <div>92</div> <div>587</div> <div>480</div> <div>192</div> <div>0</div> <div>192</div> <div>10</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Area [mm²]</div> <div>hg_eff [W/m²-K]</div> <div>Tg_eff [K]</div> <div>T_wall [K]</div> <div>Q_conv [W]</div> <div>Q_rad [W]</div> <div>Q_total [W]</div> <div>Q_flux [kW/m²]</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Piston 1</div> <div>5099</div> <div>567</div> <div>1095</div> <div>600</div> <div>1433</div> <div>365</div> <div>1798</div> <div>353</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Piston 2</div> <div>3930</div> <div>567</div> <div>1095</div> <div>600</div> <div>1105</div> <div>281</div> <div>1386</div> <div>353</div> </div> </div>						
<div> <div> <div>Piston 3</div> <div>1593</div> <div>567</div> <div>1095</div> <div>600</div> <div>448</div> <div>114</div> <div>562</div> <div>353</div> </div> </div>						

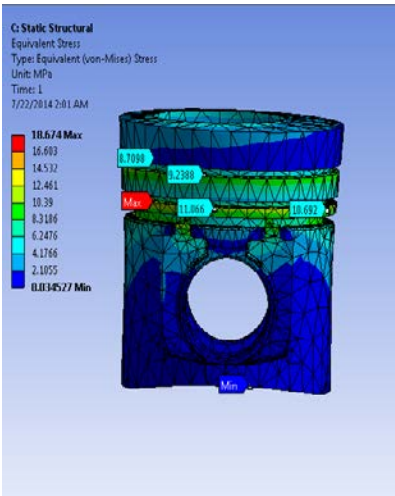


# Data Hasil Simulasi Perbandingan Material Dan Model

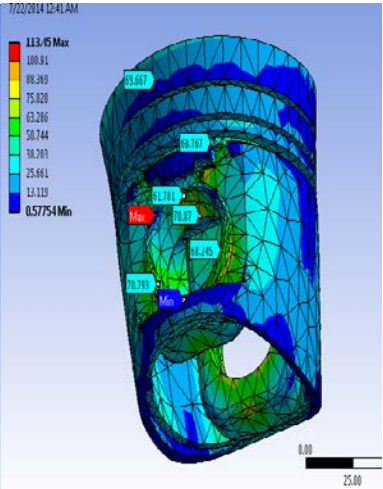
## Model Original

AlSi 12 CuNiMg

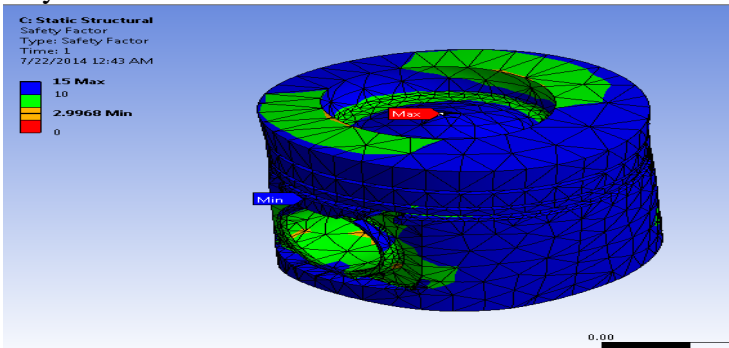
### Thermal Stress



### Total Stress



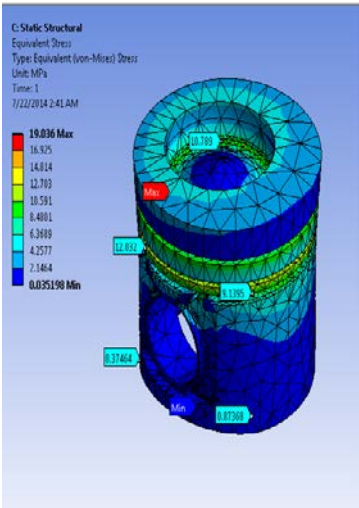
### Safety Factor



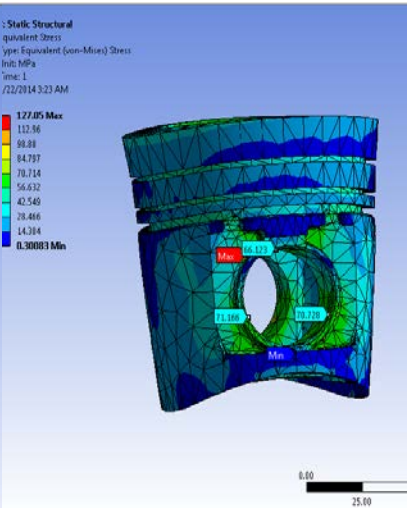


AlSi 12 Cu4Ni2Mg

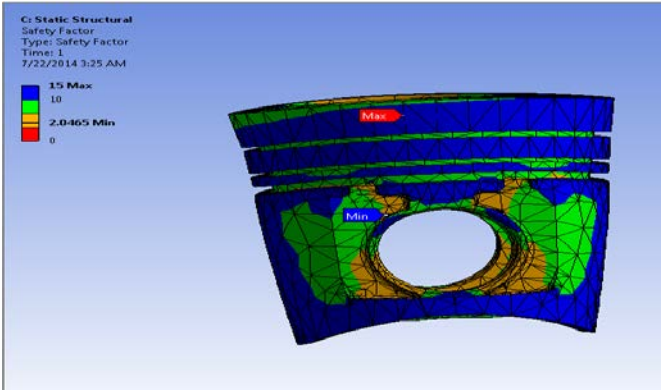
Thermal Stress



Total Stress

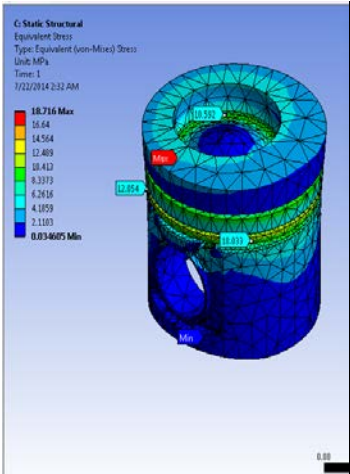


Safety Factor

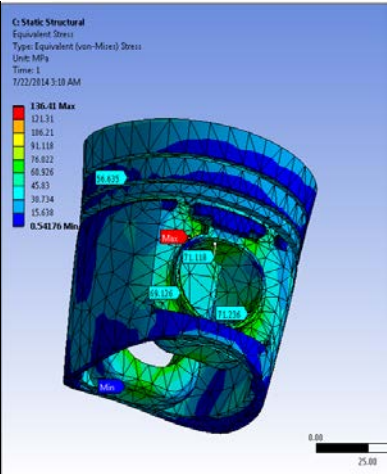


AlSi 18 CuNiMg

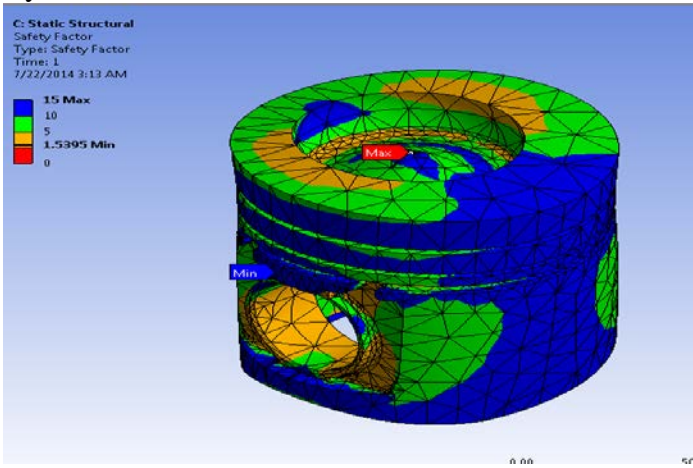
Thermal Stress



Total Stress

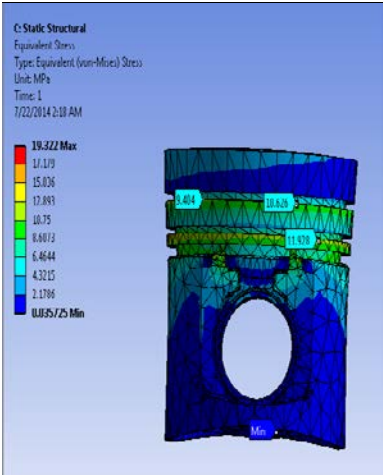


Safety Factor

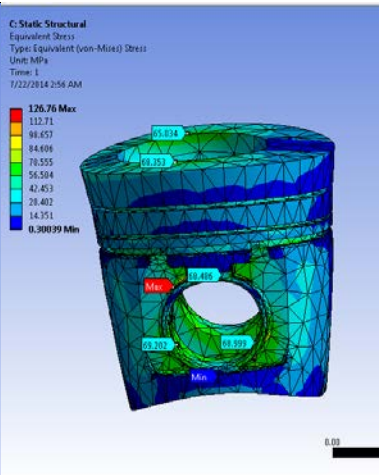


AlSi 25 CuNiMg

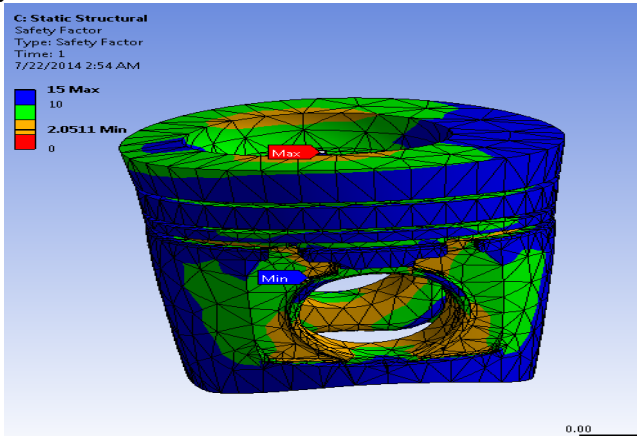
Thermal Stress



Total Stress



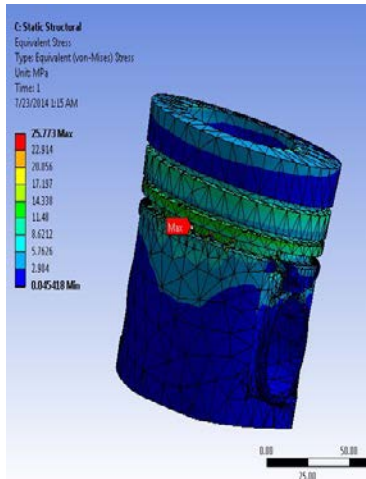
Safety Factor



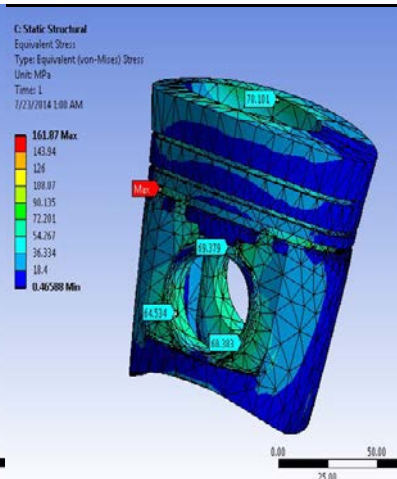
# Model di Modifikasi Dengan Penambahan Lubang Pada Area Ring Oil

AlSi 12 CuNiMg

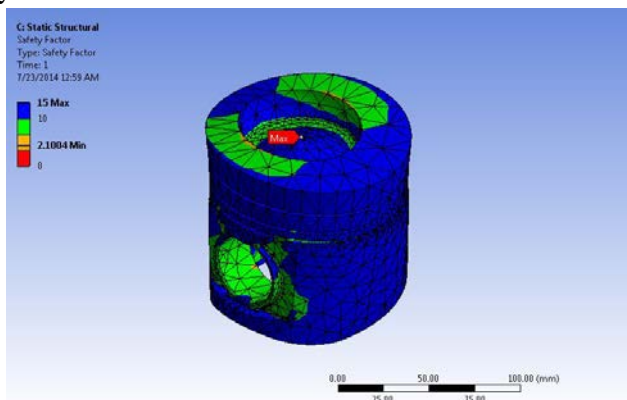
Thermal Stress



Total Stress

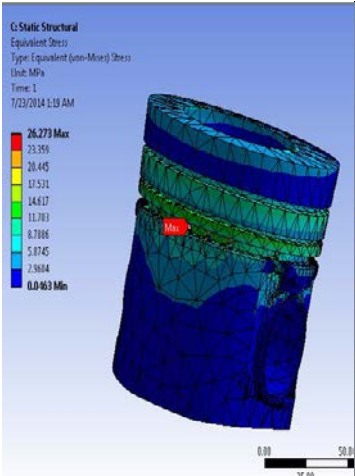


Safety Factor

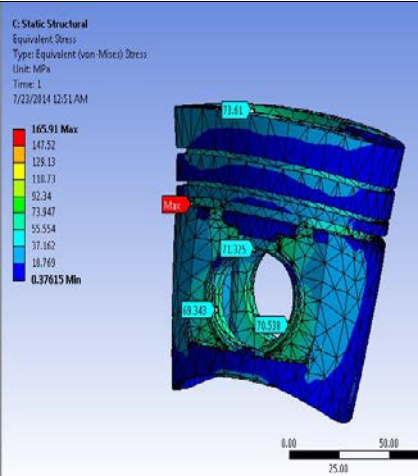


AlSi 12 Cu4Ni2Mg

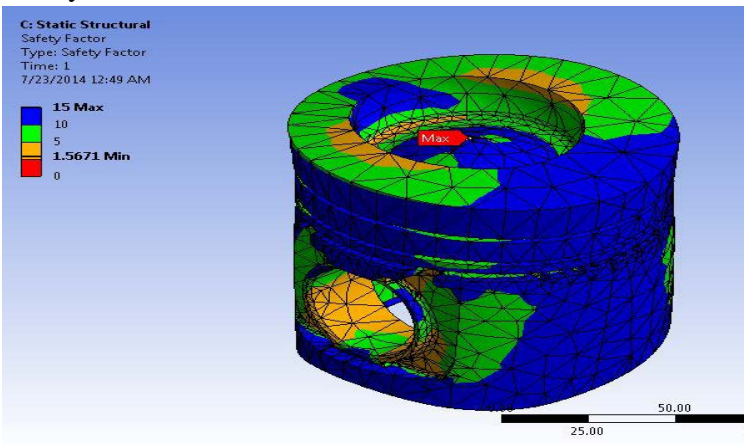
Thermal Stress



Total Stress

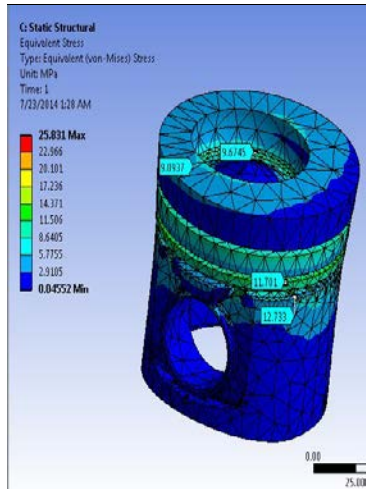


Safety Factor

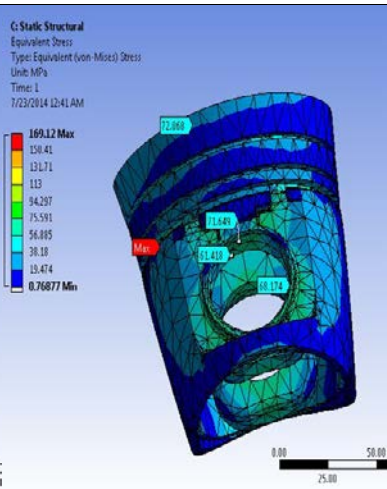


AlSi 18 CuNiMg

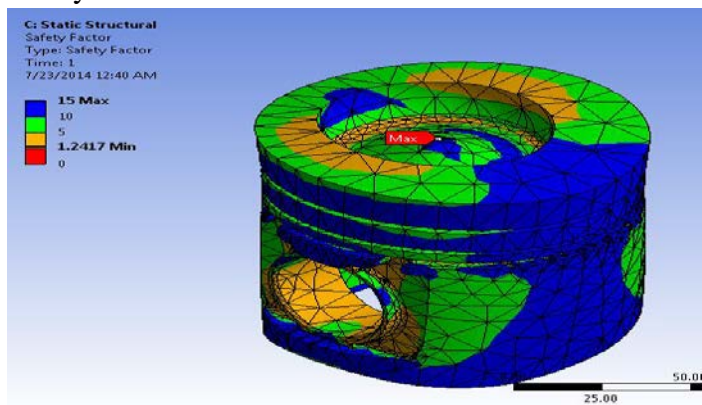
## Thermal Stress



## Total Stress



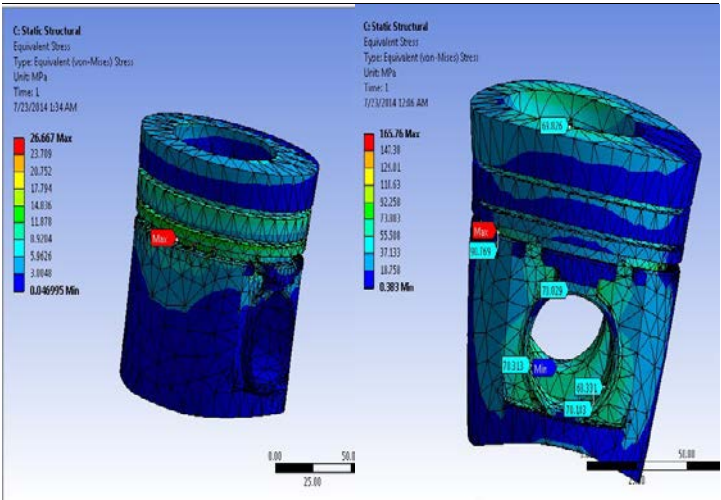
## Safety Factor



AlSi 25 CuNiMg

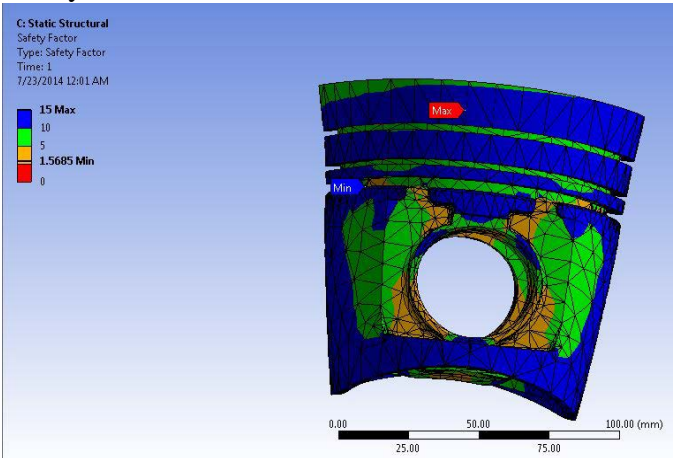


## Thermal Stress



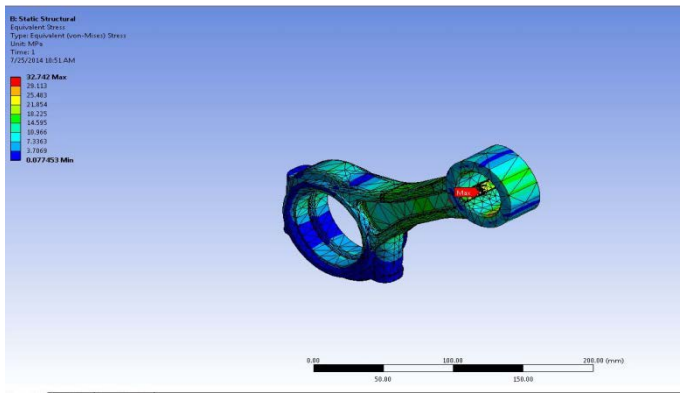
## Total Stress

## Safety Factor

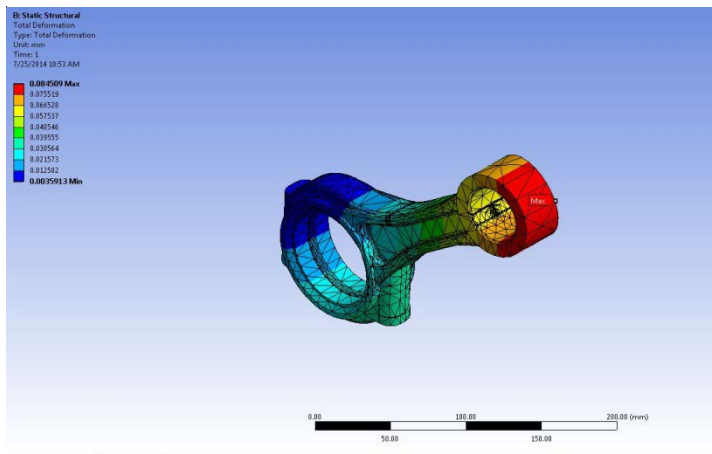


## Data Hasil Simulasi Perbandingan Material Connecting Rod

Pada Material AlSi 1045 :  
Total Stress

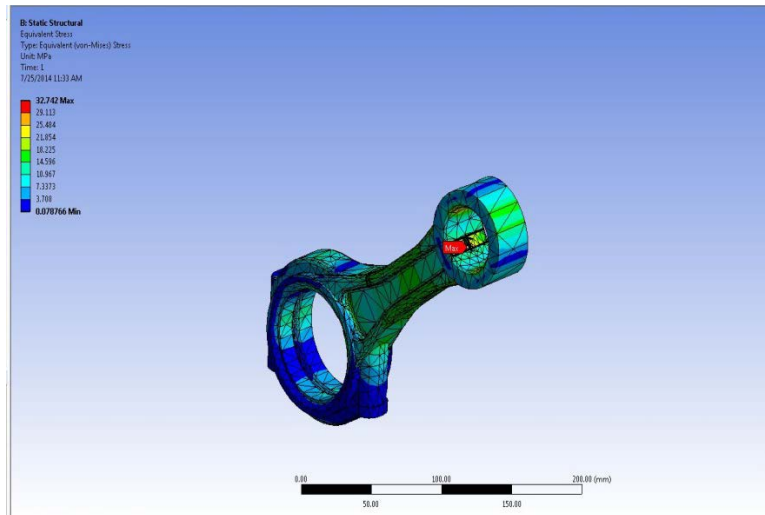


Total Deformasi

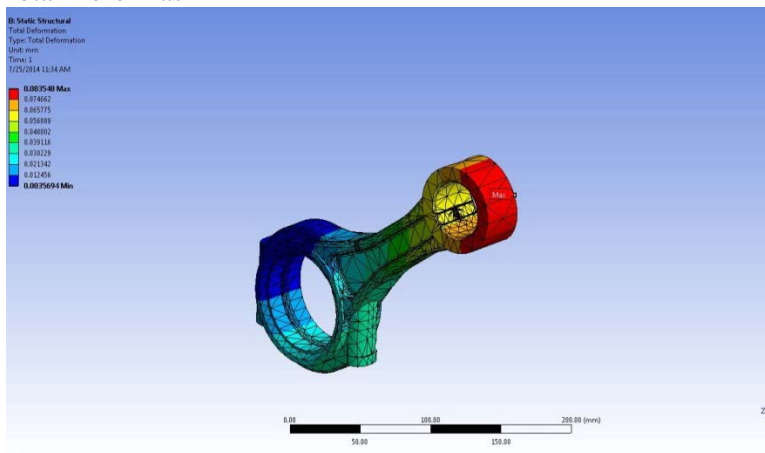


Pada Material C-70 :  
Total Stress





## Total Deformasi



## Daftar Pustaka

- Mollenhauer K and Tschoeke.,2010. Handbook of Diesel Engines., Springer-Verlag Berlin Heidelberg PP: 978-3
- Ganesan,V.,1999.Internal Combustion Engines.2nd Edn., Tata McGraw-will, New Delhi. India PP:110-255
- Chan S.H. and Khor K.A. 1999., The Effect of Thermal Barrier Coated Piston Crown on Engine Characteristics., Journal ASM International
- Gedeon, P.E.,2000., Handbook of Diesel Engine Fundamentals., PP: M04-002
- Septiawan S.2011.,Final Project.,Piston Stress Analysis Cause ReductionOf Piston Head Thickness At Conversion Diesel Engine To Gas Fuel Engine
- Halman, J.P., 1986.Perpindahan Panas, 6<sup>th</sup> Edition, Erlangga, jakarta
- Singer.F.L and Pytel.A.,1980. Ilmu Kekuatan Bahan, 3<sup>rd</sup> Edition,Jakarta:Erlangga
- Surdia, Tata and Saito, Shinroku.1992. Pengetahuan Bahan Teknik.(edisi kedua).Jakarta:Pradnya Paramita
- Park, H., Ko, Y. S., Jung, S. C., Song, B. T., Jun, Y.H., Lee, B. C., and Lim, J. D., 2003 “Development of Fracture Split Steel Connecting Rods,” SAE Technical Paper Series, Paper No. 2003-01-1309,
- Shenoy,S.P and Fatemi.A., 2005., Connecting Rod Optimization for Weight and Cost Reduction., SAE Technical Paper Series, Paper No. 01-0987
- Szurgott,P. and Niezgoda,P.2011., Thermomechanical FE Analysis Of The Engine Piston Made Of Compodite Material With Low Histerisis., Journal of Kones Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 1

- Reppen, B., 1998 „Optimized Connecting Rods to Enable Higher Engine Performance and Cost Reduction., SAE Technical Paper Series, Paper No. 980882
- Silva F.S., 2005., Fatigue on engine pistons – A compendium of case studies., Eng Failure Anal Paper No.13- 480–492
- MAHLE, Pistons for high loaded direct injection diesel engines. Technical Information. Pp: 12.
- Gudimetal P., Gopinath C.V., 2009. Finite Element Analysis of Reverse Engineered Internal Combustion Engine Piston., AIJSTPME pp:2(4): 85-92



Penulis dilahirkan di Pamekasan Jawa Timur pada tanggal 09 September 1990. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kaduara Barat 3, SMPN 02 Pamekasan, MAN 01 Junggang Pamekasan Pati pada tahun 2009 dan sudah menyelesaikan program D3 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 2012. Penulis melanjutkan studi Strata-1 Penulis terdaftar dengan Nomer Registrasi Pokok 4212 105 023 sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2010-2014..Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan tingkat jurusan, fakultas dan institut serta aktif dalam berbagai seminar dan kegiatan yang diselenggarakan baik oleh pihak jurusan, fakultas, maupun dari pihak ITS sendiri.